

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Elektroniikkatuotanto

2014

Riku Väkevä

MODULAARINEN OLOSUHDETESTAUS- JÄRJESTELMÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Elektroniikkatuotanto

Opinnäytetyön valmistumisajankohta: 2014 | Sivumäärä: 37

Ohjaajat: Yngvar Wikström ins (YAMK), Mauri Aalto DI

Riku Väkevä

MODULAARINEN OLOSUHDETESTAUSJÄRJESTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä esitellään olosuhdetestauksen kehittämisprojekti, jonka tavoitteena oli nostaa transponderilaitteiden testauksen kapasiteettia ja tehdä olosuhdetestauksesta modulaarinen. Olosuhdetestauksessa ALSC-ominaisuudella (Automatic Level And Slope Control) varustetut laitteet kalibroidaan useissa eri lämpötiloissa, jolloin lämpötilan vaikutus saadaan poistettua niiden toiminnasta. ALSC säättää tiedonsiirtoverkossa toimivan vahvistimen lähdössä olevaa tehotasoa mikäli laitteessa itsessään tai signaalin siirtotiessä tapahtuu muutoksia vahvistuksiin tai vaimennuksiin.

Järjestelmä toteutettiin ohjelmoimalla National Instruments LabVIEW ja TestStand ohjelmistotyökaluilla. Testaussolut ja niiden toiminta säilytettiin mahdollisimman samanlaisina aikaisempiin järjestelmiin nähden. Uutena elementtinä järjestelmään otettiin käyttöön palvelin, joka synkronoi testaukset ja kontrolloi olosuhdetestauskaapin lämpötilaa. Testaussoluja tuli olla mahdollista käyttää tarpeen mukaan ja myös lisätä järjestelmään tulevaisuudessa.

Uudella testaustavalla olosuhdetestaus voidaan tehdä monelle laitetyypille samanaikaisesti käyttämällä useaa eri testaussolua. Tällöin järjestelmästä saadaan tehokkaampi ja joustavampi.

Järjestelmästä tuli vaatimuksien mukainen ja sillä kyettiin luomaan valmiudet uuden testaustavan käyttöönotolle.

ASIASANAT:

olosuhdetestaus, lämpökalibrointi, TestStand, LabVIEW, Lean

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics Production

Completion year of the thesis: 2014 | Total number of pages: 37

Instructors: Yngvar Wikström M.Eng. Mauri Aalto M.Sc.

Riku Väkevä

MODULAR CLIMATIC TEST SYSTEM

The purpose of this thesis was to design and implement a modular climatic test system based on existing test systems. Products equipped with an ALSC (Automatic Level and Slope Control) feature are tested and calibrated in various temperatures in a climatic room. Amplifiers utilizing ALSC are able to operate consistently in data transmission network regardless of gain and attenuation variations in the transmission line or equipment. Because of the ALSC the amplifier can be configured to maintain specific levels in its outputs and it automatically compensates deviations in the network.

The system was programmed with National Instruments LabVIEW and TestStand software development tools. The operating model was kept as similar as possible to the previous system. A server was introduced to the system as a completely new component. The server synchronizes the test sequences between test cells and it controls the temperature in the climatic room. One of the core requirements was that the number of test cells had to be easily configurable and deployable whenever needed.

With the new modular framework the climatic testing can be performed on different product types simultaneously or independently on demand. The outcome of the thesis is a more flexible and efficient system compared to the previous one.

The new system complied with its requirements and as a result this thesis laid the groundwork for overhauling the old system.

KEYWORDS:

climatic testing, temperature calibration, TestStand, LabVIEW, Lean

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

1 JOHDANTO	1
2 TESTAUSVAATIMUKSET	2
2.1 Lämpökalibrointi	2
2.2 Lean	3
2.3 Kapasiteetti	3
2.4 Kustannukset	4
3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI	5
3.1 Mittapaikat	6
3.2 Kommunikaatioteknologiat	7
3.2.1 DVX-väylä	7
3.2.2 Ethernet-lähiverkkotekniikka	7
3.2.3 GPIB-väylä	7
3.2.4 RF-yhteydet	8
3.2.5 RS-232-standardi	9
3.3 Mittauslaitteisto	9
3.3.1 Jigit	9
3.3.2 Signaaligeneraattori	10
3.3.3 Tehomittari ja -sensori	12
3.4 Olosuhdetestauskaappi	12
4 OHJELMISTO	15
4.1 Kehitysympäristöt	15
4.2 Prosessimalli	15
4.3 Tietokoneiden välinen kommunikaatio	16
4.4 Palvelimen toimintaperiaate	20
4.4.1 Alustustoimenpiteet	21
4.4.2 Sykliä sulauttaminen	21
4.5 Asiakaskoneiden toimintaperiaate	25
5 KÄYTTÖÖNOTTO	28
5.1 Testauksen simulointi ja testiajo	28

5.2 Transponder-mittapaikka	28
6 MITTAUSDATAN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN	32
6.1 Mittaustulosten käyttö kalibroinnissa	32
6.1.1 BKT-tuotteet	32
6.1.2 Transponderit	33
7 YHTEENVETO	36
LÄHTEET	37

LIITTEET

Liite 1. Kytkentäkaavio BK-mittapaikan RF-yhteyksistä.
Liite 2. Vuokaavio lämpösyklin suorituksesta.

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

ALSC	Automatic Level and Slope Control, automaattiseen signaalin tehon ja kaltevuuden säätöön käytetty vahvistinteknologia
API	Ohjelmointirajapinta, ohjelmakomponenttien välisen kommunikoinnin määrittely
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification, kansainvälinen telekommunikaatiostandardi kaapeliverkon tiedonsiirtoon
EEPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory, elektroniikkalaitteiden sisäinen muisti
GPIO	General Purpose Interface Bus, laiteohjaukseen käytettävä kommunikaatioväylä
INI-tiedosto	Konfiguraatioiden määrittämiseen käytettävä yksinkertainen tekstitiedosto, joka muodostuu sektioilla ryhmitellyistä avain-arvo-pareista
IP	Internet Protocol, protokolla joka huolehtii pakettikytkentäisen verkon tietoliikenteen välittämisestä
lämpösykli	Lämpöprofiili, joka sisältää tuotteen testauksen eri lämpötilat ja tasaantumisaikat kronologisessa järjestyksessä
MAC	Media Access Control, usean laitteen jakaman verkon hallintaan tarvittava protokolla
NI-PSP	NI Publish and Subscribe Protocol, kommunikointimalli tiedon välittämiseksi SVE:n (Shared Variable Enginen) ja siihen yhteydessä olevan tietokoneen välillä
palvelin	Tietokoneen ja palvelinohjelmiston muodostama kokonaisuus, joka tarjoaa palveluita muille ohjelmille tietokoneverkossa
prosessimalli	TestStand-järjestelmän suoritusvirtauksen määrittelevä sekvenssi
SVE	Shared Variable Engine, National Instrumentsin ohjelmistokomponentti, joka hallinnoi jaettujen verkkomuuttujien käyttöä
testausympäristö	Tuotteen testaukseen tarvittava laitteisto ja ohjelmisto
testisekvenssi	Testauksen ohjaukseen tehty tietokoneohjelma
asiakaskone	Palvelimella sijaitsevalta SVE:ltä päivityksiä vastaanottava tietokone

transponderi	Esimerkiksi vahvistinlaitteissa käytettävä monitorointi- ja ohjausmoduuli
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Sarjaliikennepiiri, joka muuntaa rinnakkaismuotoisen tiedon sarjamuotoiseksi ja päinvastoin
VI	Virtuaali-instrumentti, LabVIEW-ohjelmien kutsumanimi ja tiedostopääte
VISA	Virtual Instrument Software Architecture, rajapintastandardi GPIB-, VXI-, sarja-, ethernet- ja USB-yhteyksillä toimivien laitteiden ohjaukseen
VPL	Visual Programming Language, yleisnimitys graafisten ohjelmaelementtien järjestelyyn ja yhdistämiseen perustuvilla ohjelmointikielille

1 JOHDANTO

Telestellä on ollut käytössä kaksi erillistä olosuhdetestausjärjestelmää, joilla on lämpökalibroitu transponderiyksiköitä ja BK-sarjan vahvistinlaitteita. Testausjärjestelmät ovat syntyneet Jarno Fahlbomin diplomityön ja Pasi Oksan opinnäytetyön tuloksina ja ne ovat perusta tälle työlle. Tämän työn tavoitteena on luoda nämä mittapaikat yhdistävä modulaarinen olosuhdetestausjärjestelmä. Modulaarisuus tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että testausta voidaan tehdä vaihtelevalla testauskokoontamalla tarpeen mukaan. Tällä pyritään aiempaa joustavampaan, häiriösietoisempaan ja tehokkaampaan lopputulokseen. Transponderien testauksessa käytettiin aiemmin kahdesta pienestä testauskaapista koostuvaa järjestelmää, jonka kapasiteetti ja testauksen nopeus ei vastaa kasvavaa asiakastarvetta. Uusi järjestelmä rakennetaan isompaan BK-laitteiden testauksessa käytettyyn olosuhdetestauskaappiin, johon mahtuu moninkertaisesti transponderien testausjigejä verrattuna aikaisempaan. Järjestelmällä täytyy olla mahdollisuus ajaa samanaikaisesti molempien laitetyyppien testaukset tai vaihtoehtoisesti vain jomman kumman testaus.

Olosuhdetestauksen idea on varmistaa tuotteiden toiminta niiden luonnollisissa käyttöolosuhteissa lämpösyklauksella. Testattaville laitteille on määritelty lämpötila-alue, jossa niiden toiminta täytyy säilyä samanlaisena. Olosuhdetestauksessa lämpötilakäyttäytyminen mallinnetaan suorittamalla sarja mittauksia tällä alueella. Laitteille generoidaan tuloksista kalibrintitaulukko, jolla lämpötilariippuvuus saadaan eliminoidua. Samalla karsitaan testin läpäisemättömät vialliset laitteet.

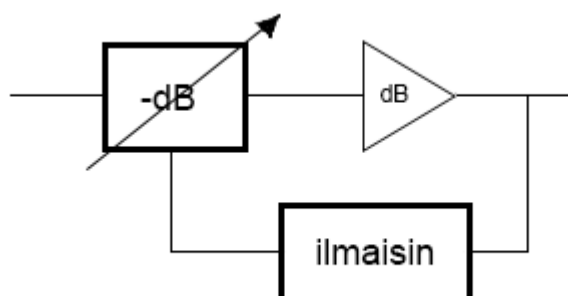
Projekti toteutetaan toimeksiantajan käyttämien testausmetodien mukaisesti. Kalibointia ohjataan tietokoneella National Instrumentsin LabVIEW- ja TestStand kehitysympäristöillä tehdyllä kokonaisuudella, joka muodostuu tietokoneista, ohjelmistokomponenteista, mittalaitteista, kommunikaatioväylistä ja testauskaapista. Suurin osa työstä koostuu ohjelmoinnista.

2 TESTAUSVAATIMUKSET

Telesten BK-sarjan laitteiden olosuhdetestaus on kehittynyt nykyiseen muotoonsa vuonna 2004 Jarno Fahlbomin diplomityön tuloksena [1], ja sitä on päivitetty Pasi Oksan insinööriyössä vuonna 2006 [2]. Transponderien testaus on kehitetty tämän jälkeen erilliseksi kokonaisuudeksi, jossa käytetään eri laitteistoa, mutta samaa prosessimallia kuin BK-laitteiden mittapaikalla. Tämän projektin vaatimusmäärittelyt perustuvat nykyisten versioiden toimintaperiaatteelle. Vähimmäisvaatimukset lämpötilakompensointiin on laatinut Telesten tuotekehitysosasto. Näihin lukeutuvat testauksessa käytettävät lämpötilat, RF-signaalien tyypit ja tasot, sekä mittaustarkkuus. Testausta pyrittiin kehittämään mahdollisimman pienillä investoinneilla säilyttäen vanhoista järjestelmistä mahdollisimman paljon.

2.1 Lämpökalibrointi

Teleste käyttää olosuhdetestausta ALSC-ominaisuudella eli automaattisella tason ja kaltevuuden säädöllä varustettuihin tuotteisiin. ALSC on takaisinkytketty systeemi, jonka avulla vahvistin voi toimia vakiodusti verkossa tapahtuvista muutoksista huolimatta. ALSC-piiri ottaa näytteitä referenssi- eli pilottisignaaleista ja muuttaa vahvistusta näytteiden ja laitteelle tehtyjen konfigurointien mukaisesti. Piiri koostuu säädettävästä vaimentimesta, vahvistimesta ja ilmaisijasta, jotka on esitetty kuvan 1 lohkokaaviossa.



Kuva 1. ALSC-piirin lohkokaavio

Pilot-signaalit ovat tehonsäätöön tarkoitettuja kiinteätaajuuksisia signaaleja. Ne voivat olla erikseen tehonsäädölle varattuja signaaleja tai esimerkiksi jokin kaapeliverkon

kanava. Referenssisignaaleja täytyy olla kaksi. Toinen taajuusalueen ylä- ja toinen alapäässä, jotta myös taajuuksista aiheutuvat vaimennuksen muutokset voidaan havaita ja korjata. Käytetyt taajuudet ovat BK-laitteille 121 MHz ja 610 MHz. Transponderien kohdalla taajuudet ovat itse määritettävissä. Ominaisuus on toteutettu BK-sarjan vahvistimissa erillisellä ilmaisimmoduulilla. Transponderit ovat puolestaan AC-tuoteperheen laitteisiin asennettavia pistoyksiköitä, jotka huolehtivat tehonsäädöstä monen muun toiminnon ohessa. Ilmaisimmoduuli on kriittinen ALSC-piirin toiminnan kannalta ja siksi sen lämpötilakäyttäytyminen täytyy selvittää ja lämpötilariippuvuus poistaa kalibroinnilla. Mittaukset tehdään jokaiselle tuotteelle -20 °C — $+70\text{ °C}$ välillä ja mitattavien pisteiden määrä vaihtelee 3–9.

2.2 Lean

Lean on tuotannon organisointiin ja kehitykseen luotu toimintamalli, jonka periaatteita noudatetaan Telesten toiminnan kehittämisessä. Lean-toimintamallilla tuotantoprosesseihin pyritään luomaan tarkoituksenmukaisuutta, järkevyyttä ja täsmällisyyttä. Tuottavuutta parannetaan poistamalla hukkia, joilla tarkoitetaan turhaa tai arvoa lisäämätöntä toimintaa. Hukat jaotellaan seitsemään eri luokkaan, jotka ovat ylituotanto, viivästykset, tarpeeton kuljettaminen, laatuvirheet, tarpeettomat varastot, ylikäsittely ja tarpeeton liike työskentelyssä. Tässä työssä odotusaikoja saadaan lyhemmiksi, kun testaukseen voidaan ottaa kerralla moninkertainen määrä tuotteita. Tuotannon virtaus tehostuu, kun tuotteet saadaan valmistettua nopeammin ja näin keskeneräinen tuotanto ja välivarastointi vähenevät. Mitä vähemmän valmistuksessa on keskeneräistä tuotantoa, sitä lyhempi läpäisy aika on. Tuotannon virtautuksella toimitusajat lyhenevät, varastoihin sitoutunut pääoma pienenee, laatu kehittyy ja tuottavuus kasvaa. [3][4]

2.3 Kapasiteetti

Fineron valmistamassa isommassa olosuhdetestauskaapissa on merkittävä määrä vähäisellä käyttöasteella olevaa tilaa. Transponderitestauksen käyttöön olisi järkevää ottaa puolet testauskaapin tilasta, jolloin transponderien testaukseen saataisiin lisättyä 12 jigipaikkaa. Tällöin uuteen järjestelmään tulisi asentaa vähintään kaksi transponderien testaussolua, jotta tila saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. Määrä on

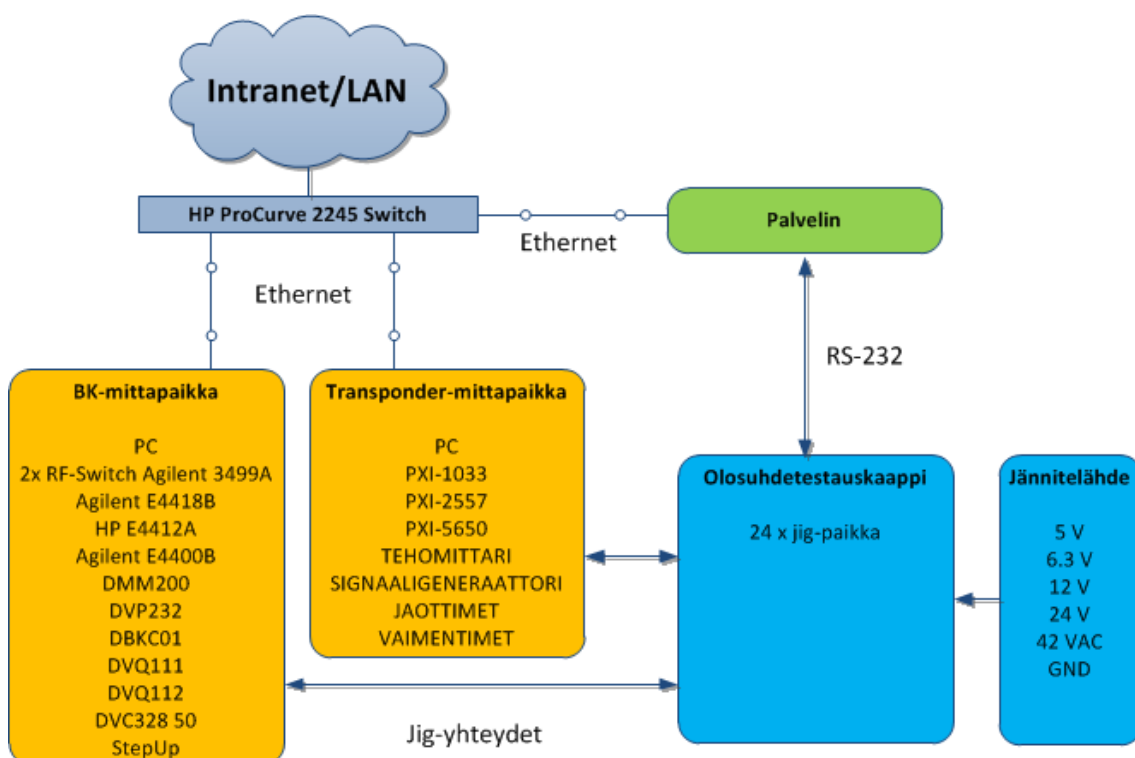
nelinkertainen aiemman järjestelmän kapasiteettiin verrattuna. On kuitenkin syytä testata käytännössä miten kauan kahdella solulla kestää suorittaa 12 jigin testaukset. Tämä kesto tulee suhteuttaa siihen kuinka kauan testauksessa kestäisi mikäli testaukset suoritettaisiin peräkkäin. Lisäksi uudella järjestelmällä transponderien testaus voidaan suorittaa vain kahdessa lämpötilassa aiemmin käytettyjen kolmen lämpötilan sijaan, mikä tehostaa entisestään testausta. Tarkempi selostus tästä toimintamallista on luvussa 6.

2.4 Kustannukset

Transponder-mittapaikan asennustyöt kestävät arviolta useita viikkoja. Suuren käyttöasteen vuoksi käytössä olleita transponderien testijärjestelmiä ei voitu siirtää suoraan uudelle olosuhdetestauspaikalle. Jotta valmistukseen ei aiheutuisi keskeytystä, päätettiin uudelle järjestelmälle rakentaa uudistuksen ensimmäisessä vaiheessa kokonaan uusi transponderimittapaikka. Mittapaikan kokoamiseen tehtiin hankintoina National Instrumentsin PXI-1033-kehikko ja RF-tehonilmaisin. Muut laitteet oli mahdollista ottaa käyttöön välittömästi Telesten mittalaitevarastosta. Tarkemmat tiedot järjestelmän vaatimista laitteista on esitelty luvussa 3.

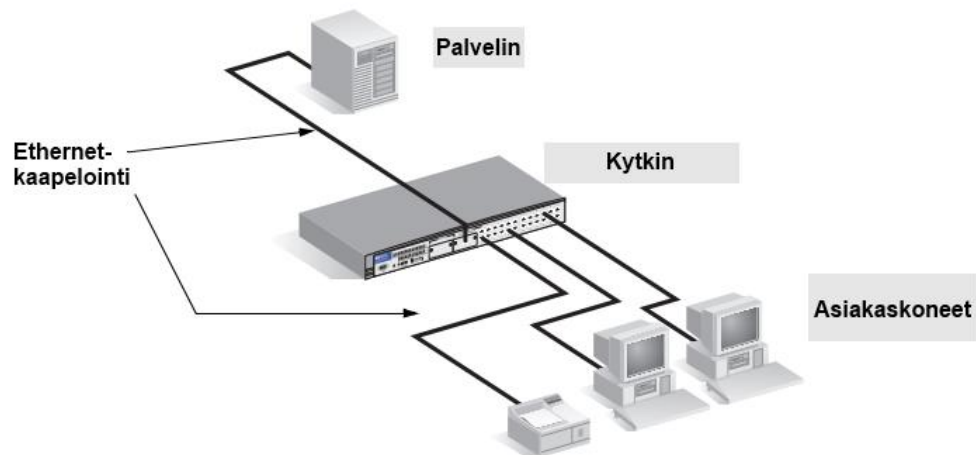
3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI

Järjestelmä muodostetaan palvelinkoneesta ja siihen Ethernet-kytkimellä liitettävistä mittapaikoista. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää useita eri kommunikaatioväyliä ja laitteita, jotka on havainnollistettu pääpiirteittäin kuvassa 2.



Kuva 2. Järjestelmän lohkoakaavio

Tässä työssä lämpötilaa kontrolloivaa tietokonetta nimitetään palvelimeksi ja mittapaikoilla käytettäviä tietokoneita asiakaskoneiksi. Palvelimella ohjataan olosuhdetestaushuoneen lämpötilaa synkronoidusti mittapaikoilla suoritettavien testausten kanssa. Järjestelmään on mahdollista lisätä eri lämpösykleillä ja mittauksilla toimivia testausympäristöjä myös jälkikäteen. Lisäksi mittaukset eivät pääse vaikuttamaan toisiinsa esimerkiksi vikatilanteissa, kun ne on eristetty toisistaan. Tällä kokoonpanolla mittauksiin kuluva aika saadaan kokonaisuuden kannalta mahdollisimman lyhyeksi, vaikka testauksessa olisi eripituisia lämpösyklejä vaativia tuotteita. Tietokoneet on kytketty lähiverkkoon asiakas–palvelin-mallin mukaisesti. Kuvassa 3 on esitetty periaate verkon kytkennöille.



Kuva 3. Järjestelmän verkkotopologia [5]

3.1 Mittapaikat

BK-mittapaikalla testataan ja kalibroidaan BK-sarjan runkoverkon vahvistimia ja niihin sisältyviä RF-ilmaisimia eli aiemmin mainittujen pilot-signaalien monitorointiin käytettäviä moduuleja. Moduulit ovat vahvistimiin pistorimalla asennettavia yksiköitä, jotka ilmaisevat ALSC-ohjaukseen käytettävien pilot-signaalien tason jännitteenä. Laitteille tehtävän lämpökalibroinnin tuloksena jokaiselle pilot-moduulille generoidaan yksilölliset korjauskertoimet, jotka kirjoitetaan kyseistä moduulia käyttävän vahvistimen EEPROM-muistiin. Kun olosuhdetestaus suoritetaan myöhemmin myös vahvistimille, niihin sulautetun ohjelmiston ilmoittama teho täytyy vastata toleranssirajojen mukaisesti tehomittarilla ilmaistua lukemaa. [1][2]

Transponderimittapaikalla testataan transponderiyksiköitä ja niihin sisältyviä moduulilevyjä. Transponderi sisältää DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) -modeemin, ja sillä monitoroidaan ja ohjataan vahvistinta, johon se on asennettuna. ALSC-ominaisuus voidaan toteuttaa omavalintaisilla pilot-taajuuksilla. Lisäksi transponderilla pystytään muun muassa analysoimaan menosuunnan signaalin spektriä ja paluusuunnan verkkoon tuottamaa ingressiä. [13]

Transponderien moduulilevyjen testaus on tarkoitus siirtää moduulituotannon yhteyteen, jolloin uudella järjestelmällä testataan ainoastaan kokonaisia koteloituja transponderiyksiköitä. Vanhan järjestelmän kapasiteetti saadaan vapautettua täysin levytestaukseen, ja se saadaan sijoitettua järkevämmiin moduulivalmistuksen puolelle.

3.2 Kommunikaatioteknologiat

3.2.1 DVX-väylä

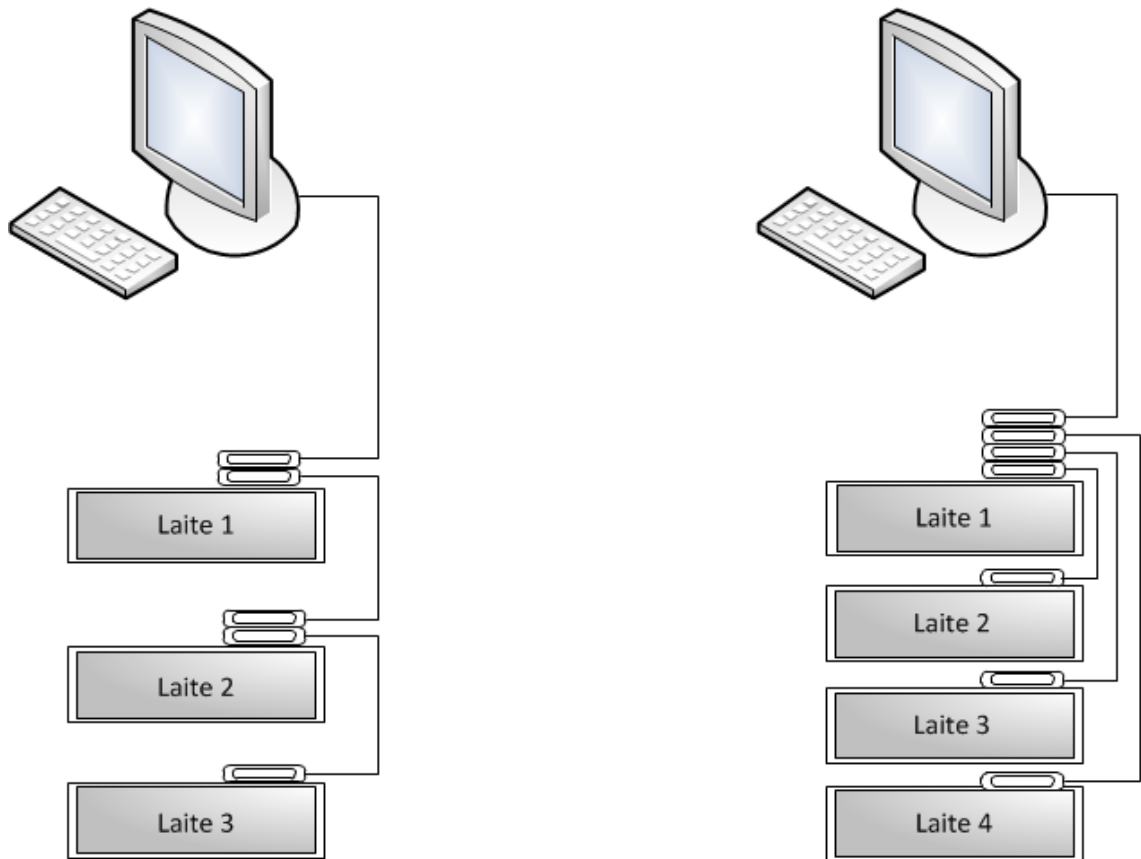
Mittauslaitteistona käytetään Telesten DVX-tuoteperheen laitteita. Laitteiden ohjaus tapahtuu ns. DVX-väylällä, joka on RS-485 sarjaliikenneväylä. Se määrittelee jokaiselle väylään liitettylle laitteelle oman osoitteen. Ohjauksessa käytettävä kommunikaatioprotokolla on Telesten kehittämä EMS (Element Management System). [2]

3.2.2 Ethernet-lähiverkkotekniikka

Tietokoneet on yhdistetty toisiinsa Ethernet-kytkimellä. Myös yhteys pilottimoduulien ja transponderien jigeihin on toteutettu tällaisen kytkimen avulla. Kytkimen muistissa on ARP-taulukko (Address Resolution Protocol), johon on listattuna kytkimen portteja käyttävien laitteiden IP- ja MAC-osoitteet. Tämän taulukon avulla jigiä ohjaava tietokone selvittää millä paikoilla jigit ovat olosuhdetestaushuoneessa. Testaustietokoneissa täytyy olla kaksi verkkoliitäntää, koska verkot ovat eristettyinä toisistaan ja ne toimivat eri osoiteavaruudessa. [2]

3.2.3 GPIB-väylä

GPIB (General Purpose Interface Bus) on yksi yleisimmistä mittalaitteiden ohjaukseen käytetyistä väylätyypeistä. GPIB-kytkentöjen etuna ovat pinoutuvat liittimet ja mahdollisuus konfiguroida jokaiselle väylää käyttävälle laitteelle oma osoite. Näin tietokoneeseen liitettyjä GPIB-laitteita voidaan ohjata yhden portin kautta. Liittimet pysyvät kiinni toisissaan ruuveilla, jolloin kiinnitys on luotettavampi kuin esimerkiksi käytettäessä USB-liitäntää. GPIB on kuitenkin kalliimpi kustannuksiltaan esimerkiksi RS-232-, USB-, FireWire ja Ethernet-standardeihin verrattuna. Lisäksi isokokoinen rakenne voi tehdä liittimien asentamisesta vaikeaa ahtaissa olosuhteissa. Kuvassa 4 on esitetty kaksi tapaa kytkeä mittalaitteita GPIB-kaapeleilla.

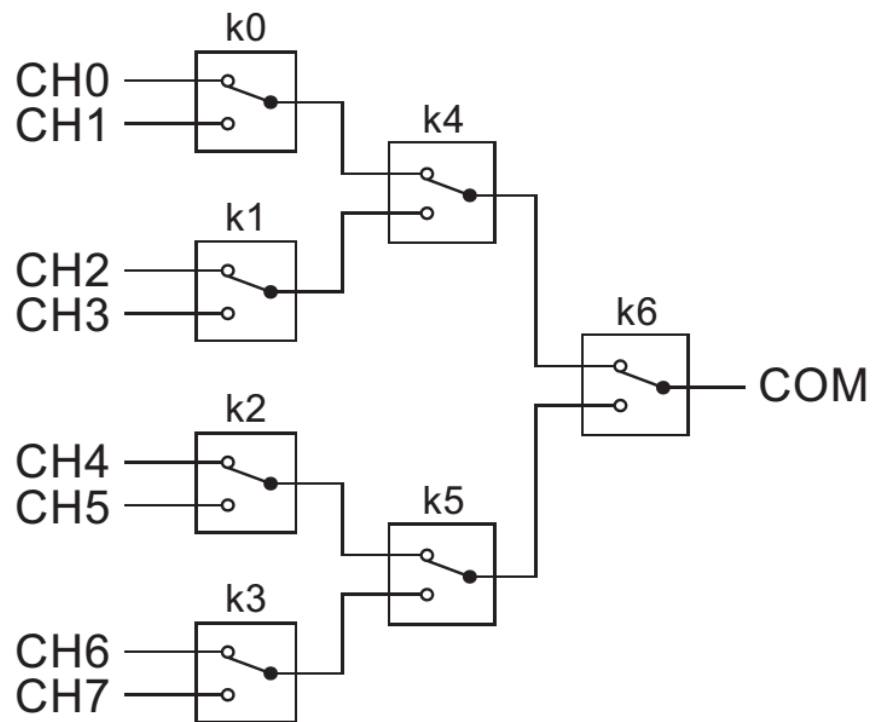


Kuva 4. GPIB-liittimillä tehty lineaarinen kytkentä vasemmalla ja tähtikytkentä oikealla.

3.2.4 RF-yhteydet

BK-mittapaikalla signaaligeneraattori ja tehomittari ovat yhdistettynä jigeihin kahdella RF-kytkimellä. Kytkimiä ohjataan tietokoneella automatisoidusti, jolloin signaali saadaan reititettyä signaaligeneraattorilta kulloinkin testauksessa olevalle jigille ja edelleen testattavalta laitteelta tehomittarille. Kytkentäkaavio on liitteessä 1.

Transponder-mittapaikalla yhteyksien automatisointi on toteutettu NI PXI-2557 -RF-kytkimellä. Generaattori syöttää signaalia vahvistimelle, joka on kytketty kytkimen COM-liittimeen. PXI-2557 toimii kytkennässä demultiplekserina. Tästä signaali voidaan reitittää eteenpäin CH0-CH7-liittimiin kytetyille jigeille ja tehomittarille. Kytkimen topologia on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. PXI-2557 topologia [6]

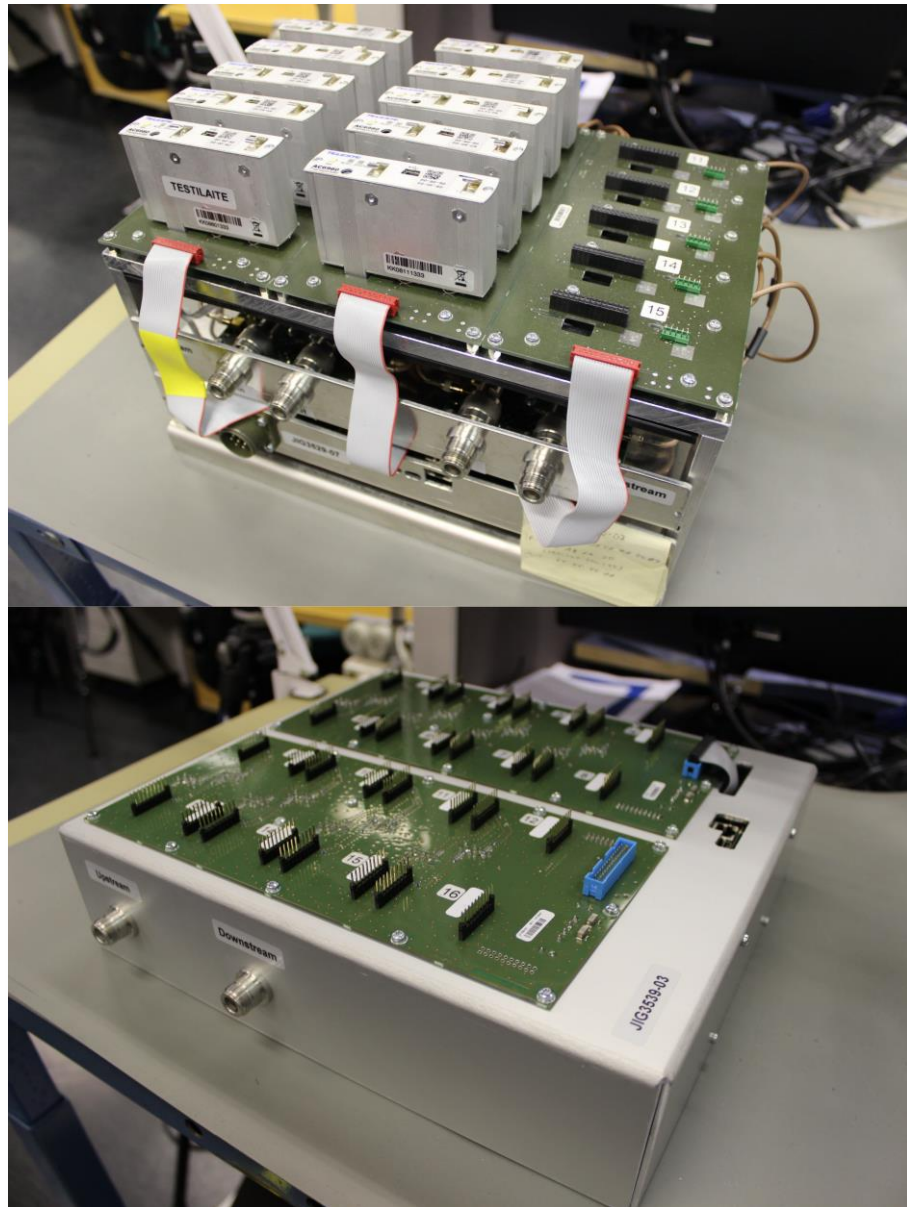
3.2.5 RS-232-standardi

RS-232-standardin sarjaliikenneväylää käytetään olosuhdetestauskaapin lämpötilaohjaukseen. Tietokone on yhdistettynä suoraan kaapin ohjauspaneeliin sarjaportilla. Uudemmissa tietokoneissa ei välttämättä ole sarjaporttia integroituna emolevyyn, jolloin voidaan käyttää USB-adapteria tai sarjaportin sisältävää lisäkorttia.

3.3 Mittauslaitteisto

3.3.1 Jigit

Jigit ovat mittausalustoja, joihin testattavat laitteet kiinnitetään testauksen ajaksi. Jigi on fyysinen liittymärajpinta mittauksessa käytettäville yhteyksille mittalaitteiston ja testattavien laitteiden välillä. Alustojen ohjaus on toteutettu mikrokontrollerilla, johon on sisällytetty Ethernet- ja UART-liitännät.

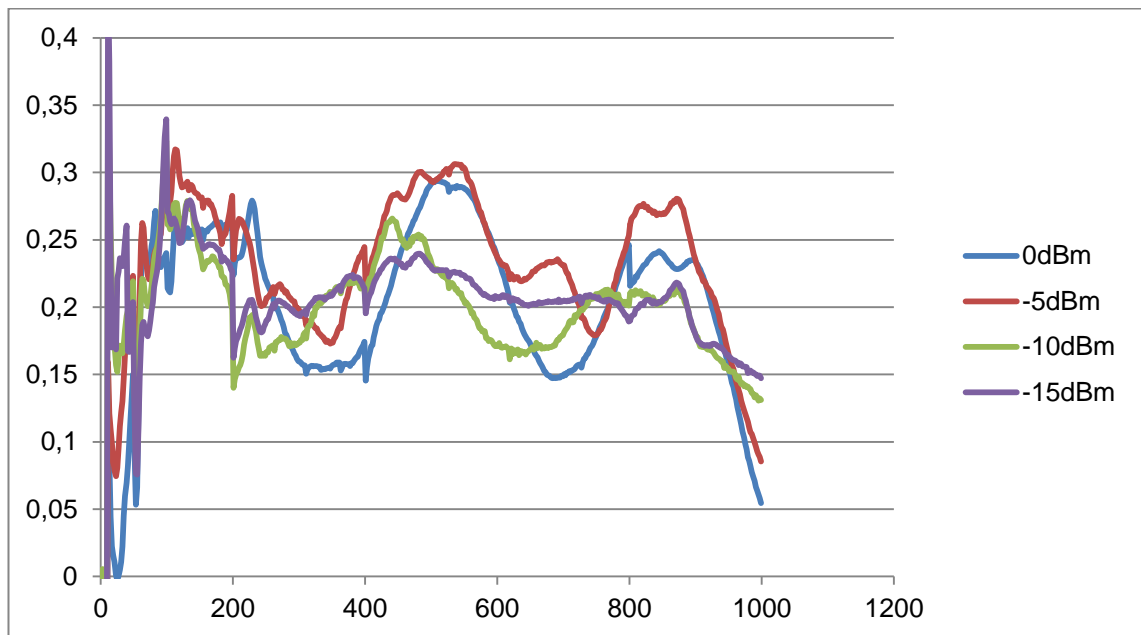


Kuva 6. Järjestelmässä käytettävät jigit.

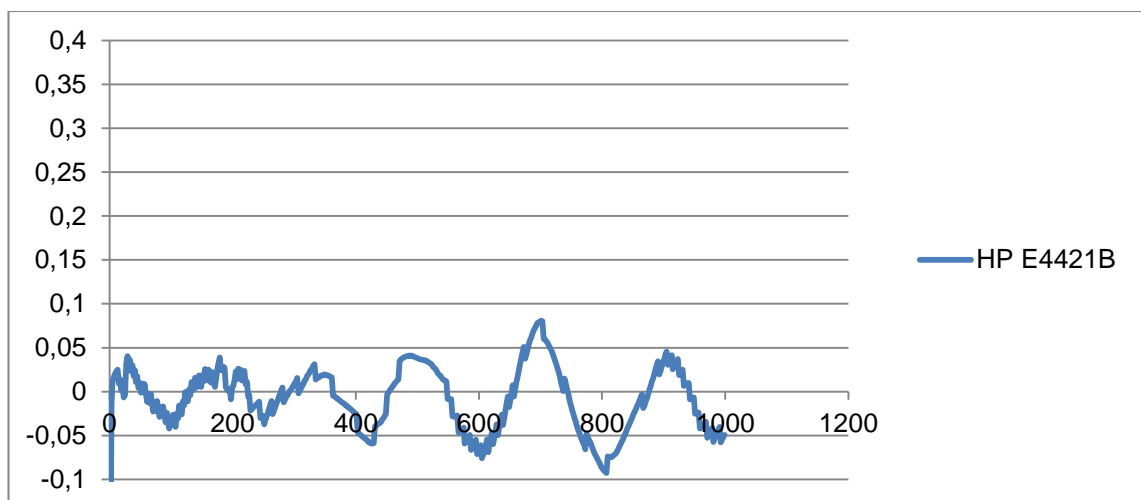
3.3.2 Signaaligeneraattori

Signaaligeneraattorilla tuotetaan jatkuvaa aaltomuotoa generaattorikohtaisella taajuusalueella, joka on yleensä sadoista kilohertseistä useampaan gigahertsiin. Laitteessa on sisäänrakennettu säädettävä vaimennin, jonka avulla ulostuloteho voidaan säätää halutulle tasolle. BK-mittapaikan generaattori on Agilent ESG E4421B, jonka taajuusalue on 250 kHz – 3 GHz. [7] Toistaiseksi transponderien testauksessa käytetään saman tyyppistä generaattoria. Transponderien testauksessa on kuitenkin

suunnitteilla siirtyä käyttämään PXI-standardin signaaligeneraattoria, koska Agilentin generaattoreiden tuotanto on lopetettu ja niiden hankinta on vaikeaa. Tätä varten tehtiin evaluointimittaukset NI PXI-5650 -generaattorille, jonka taajuusalue on 500 kHz – 1.3 GHz. [8] Mittausten perusteella generaattorin vahvistus on riittävän lineaarinen mittauksissa tarvittavalla taajuusalueella, joten sen käyttöönottoa on syytä harkita E4421B:n korvaajaksi. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 7. Vertailumittaukset tehtiin E4421B:lle 0 dBm tasolla. Suorituskyky oli PXI-5650:a parempi, mutta merkityksetön testauksen kannalta. Mittaustulokset on esitettynä kuvassa 8.



Kuva 7. NI PXI-5650 teho 1 MHz – 1 GHz taajuusalueella eri tasoilla mitattuna



Kuva 8. HP E4421B teho 1 MHz – 1 GHz taajuusalueella 0 dBm tasolla mitattuna

3.3.3 Tehomittari ja -sensori

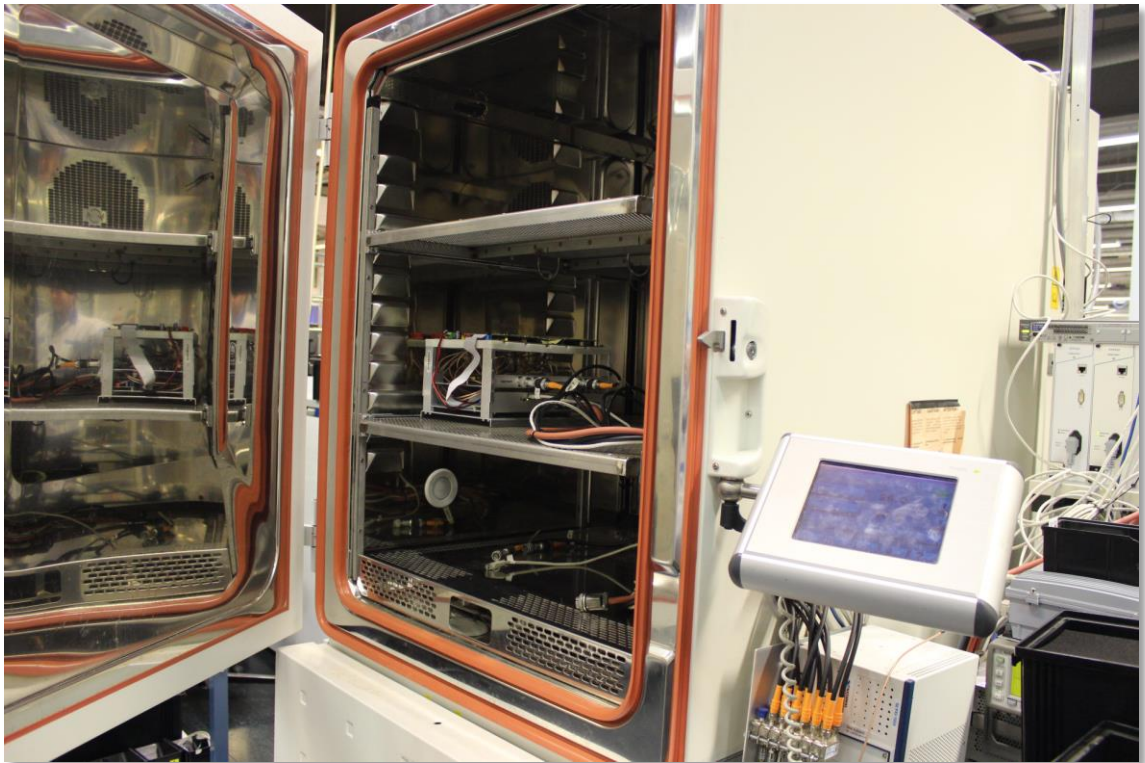
Signaalien teho mitataan laitteella, joka koostuu sensorista ja GPIB-väylän kautta ohjattavasta mittarista. Modernimmat tehosensorit toimivat tietokoneen kanssa suoraan USB-yhteydellä, jolloin erillistä mittaria ei tarvita. Sensori sisältää tehon ilmaisevat komponentit ja se muuntaa mitatun tehon analogiseen muotoon, joka voidaan näyttää mittarin näytöllä ja myös lukea sen kautta tietokoneella. Sensorin kalibrointi tehdään mittarin referenssilähdöstä. Olosuhdetestauksessa käytettävä tehomittari on Agilent EPM E4418B ja sensoria Agilent E4412A.

3.4 Olosuhdetestauskaappi

BK-tuotteiden testauskaapin tyyppi on Finero LH-2721 (kuva 9), ja se sisältää 24 jigipaikkaa. Kaapin lämpötilaa ohjataan HCT-20 PID-säätimellä, jota kontrolloidaan sarjaportin kautta. Transponderien käytössä olevan kaapin tyyppi on Vötsch VT 4060 (kuva 10), jossa on mahdollista käyttää kolmea testausjigia kerrallaan. Tämä rajoitus perustuu testeihin kuluvaan aikaan paikkalukumäärän sijaan. Kaapissa on paikkoja useammallekin jigille, joita ei pystytä kuitenkaan hyödyntämään kaikkia samanaikaisesti. Käyttämällä maksimissaan kolmea testausjigia kerrallaan testaus kestää noin kahdeksan tunnin työvuoron ajan. Tämä on transponderien edellisen testausmallin suurin heikkous, sillä se muodostaa pullonkaulan tuotantoputkeen eikä mahdollista lean-periaatteiden mukaista yhden kappaleen virtaa. Kaappien tarkemmat yksityiskohdat on esitetty taulukossa 1. [9][10]



Kuva 9. Finero LH-2721 -olosuhdetestauskaappi



Kuva 10. Vötsch VT 4060 -olosuhdetestauskaappi

Fineron testauskaappi puolestaan ei sovellu transponderien alkuperäismuotoiseen testaukseen lämpötilan ylärajoituksen takia. Testausta päätettiin muuttaa tämän seurauksena, mistä tarkempi kuvaus on luvussa 6.

Taulukko 1. Olosuhdetestauskaappien tekniset tiedot

		Finero	Vötsch
tilavuus (m ³)		13	0.6
ulottuvuudet (m)	leveys	2,5	0,8
	syvyys	1,9	0,8
	korkeus	2,7	0,95
lämpötila-alue (°C)		-40 ... +70	-40 ... +180
lämpötilan muutosnopeus (°C/min)	jäähdytys	1	3
	lämmitys	1	4

4 OHJELMISTO

4.1 Kehitysympäristöt

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) on systeemisuunnittelualusta ja ohjelmointiympäristö National Instrumentsin VPL-ohjelmointikielelle. Sitä käytetään yleisesti tiedonkeruu-, laiteohjaus-, ja automaatiosovelluksien kehittämiseen. LabVIEW-ohjelmoinnin käyttöliittymän perusta ovat etupaneeli ja lohkokaavio. Etupaneeli sisältää indikaattorit ja kontrollit, jotka määrittävät ohjelman syöttötiedot. Etupaneeli voidaan näyttää ohjelman suorituksen yhteydessä esimerkiksi tietojen näyttämistä tai käyttäjän interaktiota vaativaa operaatiota varten. Lohkokaavion puolella sijaitsevat ohjelmaelementit, jotka määrittävät ohjelman toiminnan ja suoritusvirtauksen. LabVIEW on Telesten ohjelmistokehitystyökalu testaussuunnittelussa ja sitä käytetään olosuhdetestauksen uudistamiseen tässä opinnäytetyössä.

TestStand on testausautomaation toteutukseen tehty ohjelmistotyökalu. TestStandilla voidaan generoida niin kutsuttuja testisekvenssejä, jotka määrittävät testauksen suoritusvirtauksen. Sekvenssissä voidaan käyttää eri ohjelmointikielillä ohjelmoituja moduuleja virtauksen hallintaan liittyvien komponenttien lisäksi. Moduuleilla voidaan kutsua esimerkiksi LabVIEW:llä tehtyjä ohjelmia.

4.2 Prosessimalli

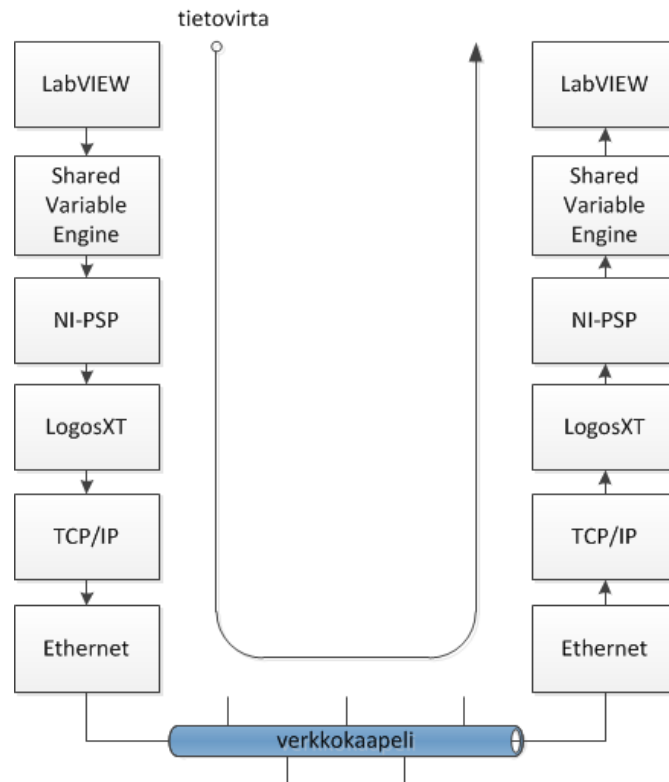
Prosessimalli on kaikille tietyn tyyppisen testauksen mittapaikoille yhteinen TestStand-sekvenssi. Tuotteen testaus vaatii paljon muitakin toimintoja kuin tiettyjen mittausten suorittamisen. Näihin lukeutuvat muun muassa suoritusvirtauksen määrittely, testattavan tuotteen tunnistus, testauksen tilasta ilmoittaminen, tulosten tallennus ja testiraportin generointi. Näiden toiminnallisuuksien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan prosessimalliksi. Ilman prosessimallia jokaisen tuotteen sekvensseihin täytyisi liittää erikseen niiden tarvitsemat yleisfunktiot eli jokaiseen uuteen sekvenssiin täytyisi toistaa sama osa koodista. Tämän seurauksena versiohallinnasta tulisi huomattavasti työläämpää, kun koodiin ollaan tekemässä näitä toimintoja koskevia muutoksia. Prosessimallia käyttämällä testauksiin aikaansaadaan modulaarinen ja

uudelleenkäytettävä rakenne, koska yleisfunktioita koskeva hallinnointi voidaan tehdä yhdessä paikassa.

Olosuhdetestauksen uusi järjestelmä vaatii muutoksia vanhaan prosessimalliin, koska lämpötilaa säädetään jatkossa palvelintietokoneella ja eri mittapaikkojen testauksien täytyy toimia synkronoidusti toistensa kanssa. Vanhasta prosessimallista poistettiin lämpötilaohjaukset ja tuotesekvenssien kutsumiseen käytetty osuus ohjelmoitiin uudestaan. Tärkein uusi ominaisuus on palvelimen ja asiakaskoneiden välinen yhteys, jonka kautta tieto testauksien edistymisestä ja lämpötilasta välitetään. Prosessimalli on yhteinen vain asiakaskoneiden kesken, eli sitä ei käytetä palvelimella. Sen sijaan palvelimelle on ulkoistettu osa prosessimallin toiminnoista eli se on kiinteä osa prosessimallia, jota ilman testausta ei voi suorittaa.

4.3 Tietokoneiden välinen kommunikaatio

Jotta testit saadaan ajoitettua oikein, tietokoneiden täytyy olla reaaliaikaisesti ohjelmallisessa kommunikaatioyhteydessä toistensa kanssa. Tähän liittyvä data päätettiin jakaa mittauskoneiden ja palvelimen välillä National Instrumentsin kehittämällä Shared Variable -ominaisuudella eli verkkomuuttujilla. Toiminto on helppokäyttöinen ja valmiiksi sisällytetty kehitystyökaluihin, joten sen hyödyntäminen katsottiin parhaaksi vaihtoehdoksi tähän tarkoitukseen. Shared Variable on Ethernet-verkon ylitse jaettava muuttuja, jota voidaan kirjoittaa ja lukea millä tahansa samaan verkkoon liitettyllä tietokoneella. Kuvassa 11 on esitettyä verkkomuuttujien infrastruktuuri, jolle niiden toiminta perustuu.



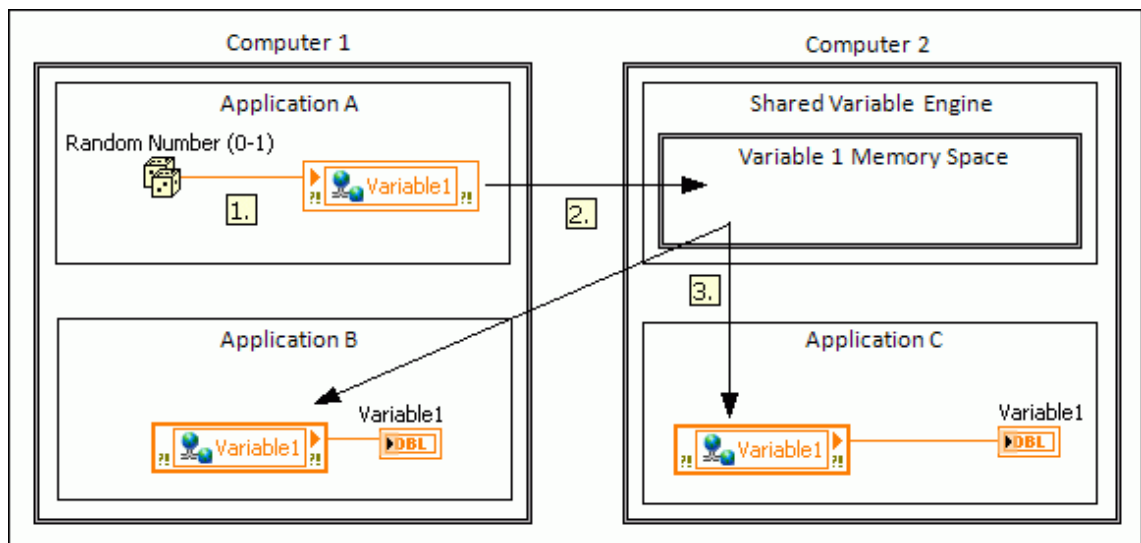
Kuva 11. Verkkomuuttujien infrastruktuuri

Kommunikaatioprosessi kahden pisteen välillä on jaettu kuuteen kerrokseen, jotka edustavat yhteydelle välttämättömiä erillisiä kokonaisuuksia. Hierarkian viisi ylintä kerrosta muodostuvat ohjelmistokomponenteista ja -protokollista ja alin kerros on fyysinen osuus tiedonsiirtoväylästä. Tässä hierarkiassa välitettävä viesti siirretään eteenpäin kerros kerrokselta. Lähettävässä päässä tieto virtaa ylhäältä alaspäin ja vastaanottavassa päässä alhaalta ylöspäin.

LogosXT-kerroksella on huomattava merkitys verkkomuuttujien tehokkaan toiminnan kannalta. LogosXT optimoi tiedonsiirtoa välitysalgoitmillä, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat 10 ms ajastin ja 8 kB puskurimuisti. Kaikki kahden pisteen välillä jaettavat muuttujat käyttävät samaa puskuria. Jos puskuri täyttyy ennen kuin ajastin on kulunut loppuun, kaikki puskurissa oleva data lähetetään välittömästi TCP/IP kerrokseen. Mikäli ajastimen mittaama 10 ms saavutetaan puskurin täyttymättä, lähetetään data sillä ajan hetkellä. Tämä mahdollistaa korkean tiedonsiirtonopeuden lähettäjän ja vastaanottajan välille, eikä se kuormita verkkoa tarpeettomasti. Alle 8 kB:n datamäärien kanssa toimittaessa yhteyteen aiheutuu kuitenkin 10 ms:n viive. Viivettä on mahdollista lyhentää erillisen flush-toiminnon avulla, mutta tämä alentaa

tiedonsiirtonopeutta. Koska viive ei ole kriittinen järjestelmän toiminnan kannalta, voitiin muuttujia käyttää oletusarvoisen toimintamallin mukaisesti. [11]

Palvelimelle sijoitettava SVE (Shared Variable Engine) hallinnoi näiden muuttujien päivitystä NI Publish-Subscribe Protocol -tekniikalla siten, että muutoksen tekävä kone lähettää datan SVE:lle, joka jakaa päivitetyn informaation eteenpäin asiakaskoneille [12]. Kuvassa 12 on havainnollistettu PSP-protokollan yksinkertaistettu toimintaperiaate esimerkkitilanteen avulla.



Kuva 12. PSP-protokollan toimintaperiaate [12]

Kuvassa tapahtuvat seuraavat asiat tässä järjestyksessä:

1. Tietokoneen 1 (asiakaskone) applikaatio A kirjoittaa satunnaislukugeneraattorilla arvotun luvun jaettuun muuttujaan
2. Toiminto lähettää pyynnön tietokoneella 2 (palvelin) sijaitsevalle SVE:lle muuttujan päivittämiseksi
3. SVE hyväksyy muutoksen ja päivittää arvon molemmille tietokoneille applikaatioiden B ja C käytettäväksi

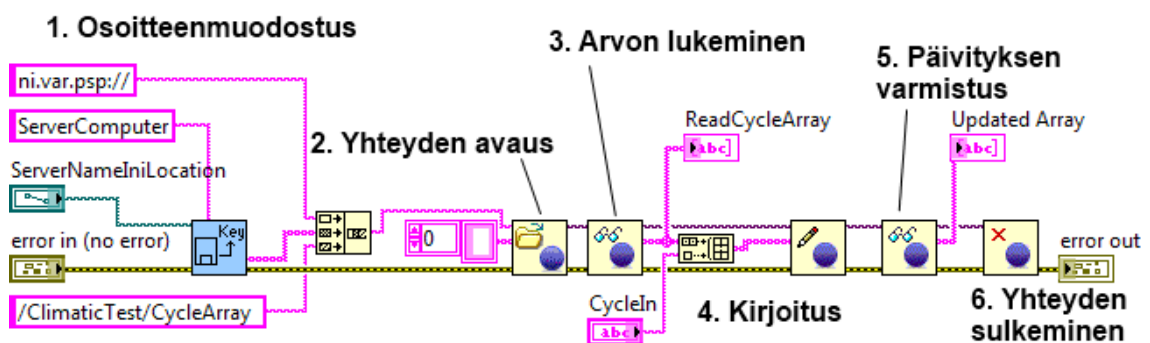
LabVIEW-koodissa verkkomuuttujiin viitataan verkko-osoitteella, joka muodostuu seuraavista elementeistä:

- tietokoneen nimi, jolla muuttuja sijaitsee
- prosessi, johon se kuuluu
- muuttujan nimi

Tässä tapauksessa esimerkiksi lämpötilan tietyllä hetkellä ilmaiseva muuttuja on sidottu osoitteeseen

```
\\palvelintietokone\ClimaticRoom\CurrentTemperature
```

Muuttujaa käytettäessä hyödynnetään uutta prosessimallia varten luotuun kirjastoon kuuluvia VI:a. Muuttujaan avataan ensin yhteys osoitteella, minkä jälkeen sen arvoa voidaan muuttaa tai se voidaan lukea. Lopuksi yhteys suljetaan. Tämä toteutetaan LabVIEW:n datakommunikaatioon tarkoitettulla API:lla. Periaate on esitetty kuvan 13 esimerkkikoodissa, jossa "CycleArray"-nimiseen verkkomuuttujaan lisätään uusi solu.



Kuva 13. Jaetun muuttujan luku- ja kirjoitusoperaatiot LabVIEW-lohkokaaviotason koodissa

Jotta palvelimen vaihtuessa sen nimeä ei tarvitsisi asettaa kaikkiin osoitemäärittelyihin erikseen, nimi luetaan ohjelmallisesti verkkolevyllä sijaitsevasta INI-tiedostosta. Palvelintietokoneen vaihtuessa nimi vaihdetaan tämän tiedoston määrittelyihin.

Verkkomuuttujia täytyy olla montaa tietotyyppiä eri käyttötarkoituksiin. Hyvä vaihtoehto olisi sisällyttää tarvittavat muuttujat klusteriin, mutta Shared Variable ei tue tätä ominaisuutta. Jokaista toimintoa varten on siis luotava omat muuttujansa, jotka sijoitetaan samaan kirjastoon. Muuttujien lukumäärä on tästä huolimatta kohtuullinen, joten kokonaisuus ei muodostu liian monimutkaiseksi. Kaikki järjestelmän käyttämät jaetut muuttujat ja niiden käyttötarkoitukset on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Jaetut muuttujat (Shared Variables)

Muuttuja	Tietotyyppi	Funktio
CurrentTemperature	Double	Ilmaisee olosuhdetestauskaapin lämpötilan.
CycleArray	Merkkijonotaulukko	Taulukko, joka sisältää testaukseen kuuluvat syklit.
MeasurementStatus	Boolean-taulukko	Mittausten tila. Arvolla TRUE testaus ei ole käynnissä. Arvolla FALSE testaus on käynnissä
OverallProgress	Double	Ilmaisee yhden testausympäristön mittauksen prosentuaalisen edistymisen.
RealTimeTemp	Double	Kahden sekunnin välein päivittyvä testauskaapin lämpötilaa ilmaiseva muuttuja.
SequenceAndComputer	Merkkijonotaulukko	Ilmaisee mitkä mittaukset kuuluvat millekin tietokoneelle.
ServerUp	Boolean	Ilmaisee palvelintietokoneen tilanteen asiakaskoneita varten. Arvolla TRUE palvelin on valmis vastaanottamaan uusia mittauksia sykliin. Arvolla FALSE mittauksen lisäys ei onnistu ja johtaa virheilmoitukseen tätä yritettäessä.
StatusIndexChanged	Boolean	Mikäli testausoperaattori tekee muutoksia testauskonfiguraatioon, täytyy mittauksen tilaa ilmaisevat MeasurementStatus-tilan indeksit selvittää uudestaan mittauksille. Arvolla TRUE tätä varten tehty ohjelma ajetaan sekvenssissä. Arvolla FALSE ohjelma jätetään ajamatta.
StatusLog	String	Asiakaskoneen prosessimallin kirjaamat tapahtumat.
TargetTemperature	Double	Lämpötila, johon testauskaappi seuraavaksi säätyy.

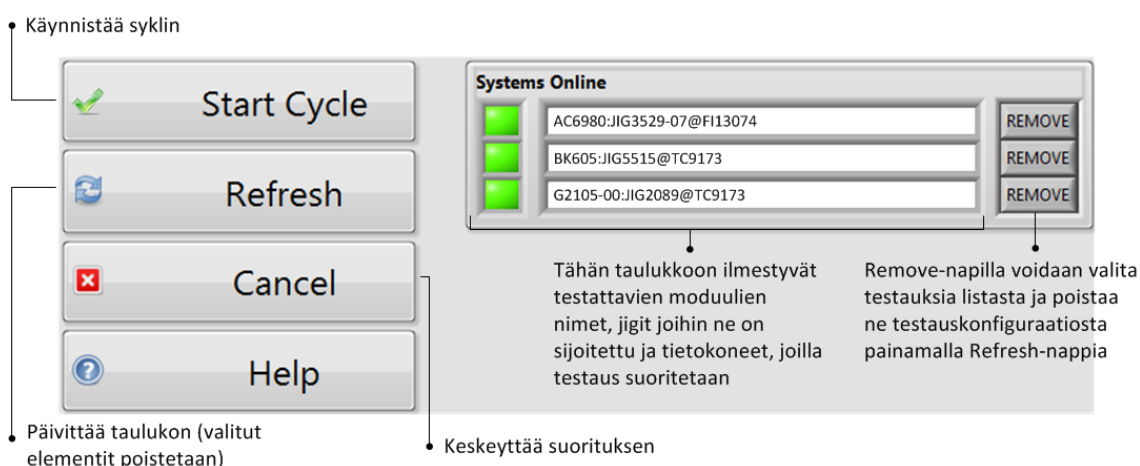
4.4 Palvelimen toimintaperiaate

Palvelin on testausympäristön keskus, jonka keskeiset toiminnot ovat lämpötilaohjaukset ja testien synkronointi. Aiemmin lämpötilaa ohjattiin mittapaikan omalla tietokoneella. Uudessa järjestelmässä tämä tehdään palvelinkoneella, joka ilmoittaa lämpötilatiedot verkkomuuttujien kautta mittapaikkojen tietokoneille.

4.4.1 Alustustoimenpiteet

Kun olosuhdetestaus aloitetaan, käynnistetään ensimmäisenä palvelinsekvenssi. Sekvenssin alussa ajetaan syklin alustusta varten luotu "InitializeCycle" VI. InitializeCycle suorittaa ensimmäiseksi verkkomuuttujien kirjaston käyttöönoton ja muuttujien alustukset, jonka jälkeen testausoperaattorille näytetään kuvan 14 ohjauspaneeli.

Mittapaikkojen tietokoneet lähettävät testauksen käynnistytksen yhteydessä palvelimelle tiedot paikoilla käytettävistä jigeistä, testattavista tuotetyypeistä ja tietokoneen nimen. Nämä tiedot näytetään paneelin "Systems Online" -taulukossa. Paneelin avulla testauskonfiguraatio on helppo tarkastaa ja sitä voidaan tarvittaessa muuttaa ennen syklin käynnistystä.



Kuva 14. InitializeCycle.vi-ohjelman ohjauspaneeli

Asiakaskoneiden kirjautuessa syklin ne saavat oman indeksinsä, jota käytetään kaikkien taulukkomuotoisten verkkomuuttujien käsittelyyn. Taulukoiden käsittelyssä asiakaskoneet muuttavat ainoastaan oman indeksinsä solujen arvoja.

4.4.2 Sykliä sulauttaminen

Kulloinkin testauksessa olevien tuotteiden lämpötilatiedot täytyy selvittää mittapaikan koneelle ja lähettää palvelimelle, jotta lämpötilaohjaukseen tarvittava lämpöprofiili voidaan muodostaa. Tuotteiden lämpötilatiedot on sijoitettu verkkolevyille INI-tiedostoihin, joista ne luetaan mittapaikan paikalliseen muuttuun osana prosessimallin

toimintaa. Syklit sulautetaan yhteen tähän tarkoitukseen ohjelmoidulla CycleMerge VI:llä. Tuloksena saadaan kyseiselle mittapaikalle oma lämpöprofiili. Nämä mittapaikkakohtaiset syklit lisätään myös CycleArray-verkkomuuttujan soluiksi, jotta myöhemmässä vaiheessa kaikkien mittapaikkojen syklit saadaan sulautettua yhdeksi sykliksi palvelimella. Tämä tarkoittaa sitä, että alustustoimenpiteiden viimeisessä vaiheessa ennen syklin käynnistämistä taulukossa olevat syklit sulautetaan CycleMerge VI:llä lopulliseksi sykliksi. Tämä sykli sisältää kaikkien mittapaikkojen tarvitsemat lämpötilat.

VI:n toiminta alkaa sillä, että se saa syöttötiedoikseen tuotteiden syklit merkkijonomuodossa. Merkkijonoissa lämpötila-arvon, suunnan ja minuuttimääräisen tasaantumisaian muodostamat kokonaisuudet on eroteltu puolipistein. Syklin esitys voi olla esimerkiksi muotoa

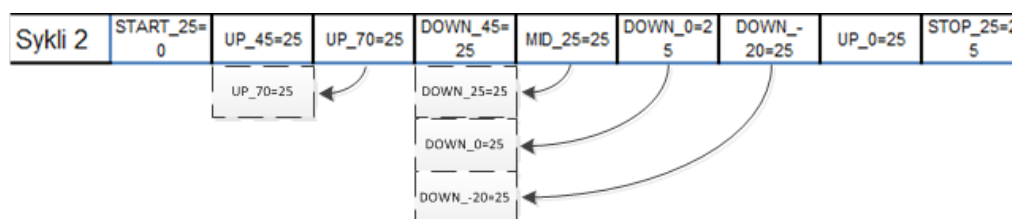
START_25=0;UP_45=40;DOWN_0=40;DOWN_-20=40;STOP_25=40

VI purkaa syklit kaksiulotteiseen taulukkoon, jossa jokainen rivi edustaa yhtä sykliä. Tässä esimerkissä aloituslämpötila on 25 °C ja tasaantumisaika 0 min, ja se on kyseessä olevan taulukkorivin ensimmäinen solu. Taulukkoon 3 on sijoitettu esimerkkinä kaksi sykliä tämän mallin mukaisesti.

Taulukko 3. Syklitaulukko

Sykli	Piste A	Piste B	Piste C	Piste D	Piste E	Piste F	Piste G	Piste H
Sykli 1	START_25=0	UP_45=40	DOWN_0=40	DOWN_-20=40	STOP_25=40			
Sykli 2	START_25=0	UP_45=25	UP_70=25	DOWN_45=25	MID_25=25	DOWN_0=25	DOWN_-20=25	STOP_25=25

Seuraavaksi ohjelma poimii syklit yksitellen taulukosta ja niiden toistuvat peräkkäiset säätösuunnat siirretään samoihin sarakkeisiin uuteen väliaikaiseen taulukkoon. Täten esimerkiksi kaksi vierekkäistä ylöspäin säätävää lämpötilaa tulevat samaan sarakkeeseen. Syklin 2 järjestely on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Syklitaulukon järjestysperiaate

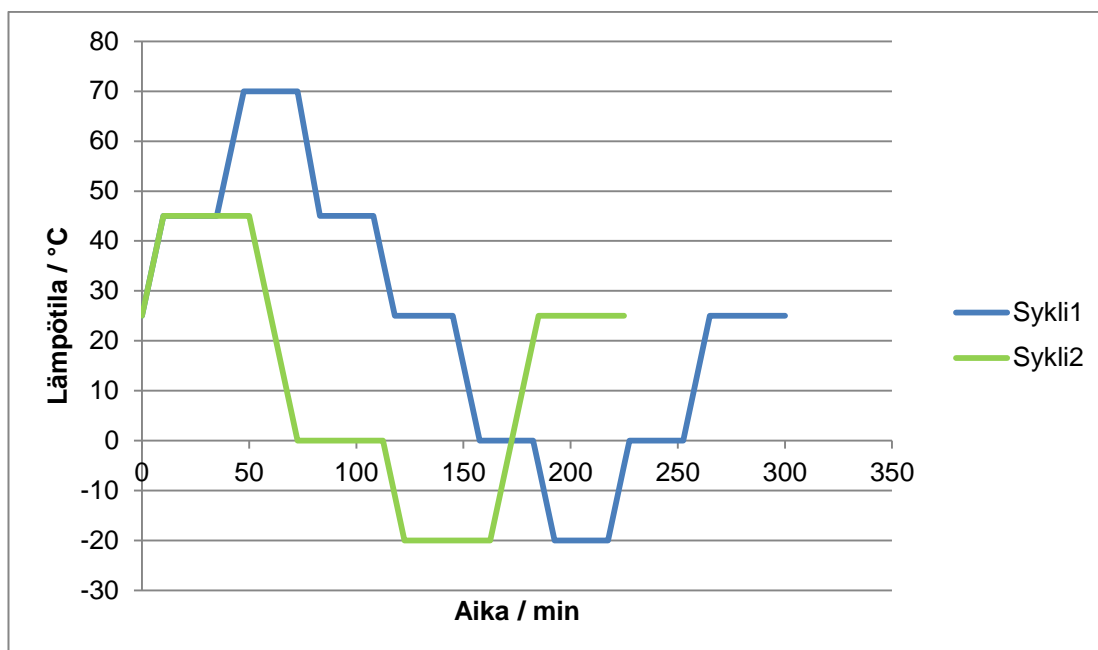
Syklissä mahdollisesti esiintyvät MID-arvot muunnetaan UP- tai DOWN-arvoiksi sitä edeltävän säätösuunnan perusteella. Nämä väliaikaiset syklitaulukot yhdistetään järjestelyn päätteeksi yhteen kaksiulotteiseen taulukkoon. Tämän esimerkin tuloksena syntyvä lopullinen syklitaulukko on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Järjestetty syklitaulukko

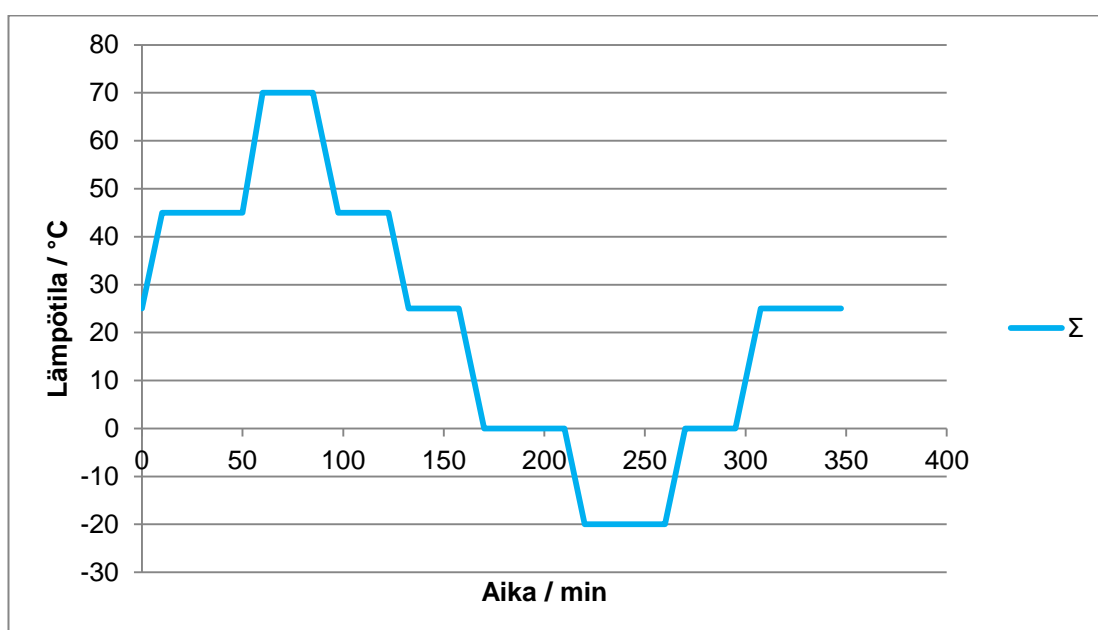
Sykli 1	START_25=0	UP_45=40	DOWN_0=40	STOP_25=40	
			DOWN_-20=40		
Sykli 2	START_25=0	UP_45=25	DOWN_45=25	UP_0=25	STOP_25=25
		UP_70=25	DOWN_25=25		
			DOWN_0=25		
			DOWN_-20=25		

Seuraavaksi VI erottelee aloitus-, lopetuslämpötilat ja niiden välissä olevat lämpötilat omiin taulukoihinsa. Taulukoista poistetaan duplikaatit. Sykli jäsennellään sarake kerrallaan siten, että jokaisen sarakkeen lämpötilat saadaan suuruusjärjestykseen. Säätösuunnaltaan ylöspäin olevat arvot ovat nousevassa ja alaspäin olevat laskevassa järjestyksessä. Lopuksi taulukoiden solut yhdistetään yksiulotteiseksi liukulukutaulukoksi, joka on lopullinen sykli.

Tuloksena on lämpöprofiili, joka kattaa tarvittavat lämpötilat oikeassa järjestyksessä kaikkien testien suorittamiseksi. Kuvassa 16 on esitettynä kaksi eri lämpösykliä ja kuvassa 17 on näiden pohjalta muodostettu sykli, joka sisältää molempien lämpötilat.



Kuva 16. Kaksi erilaista lämpösykliä tasaantumisaikoiheen

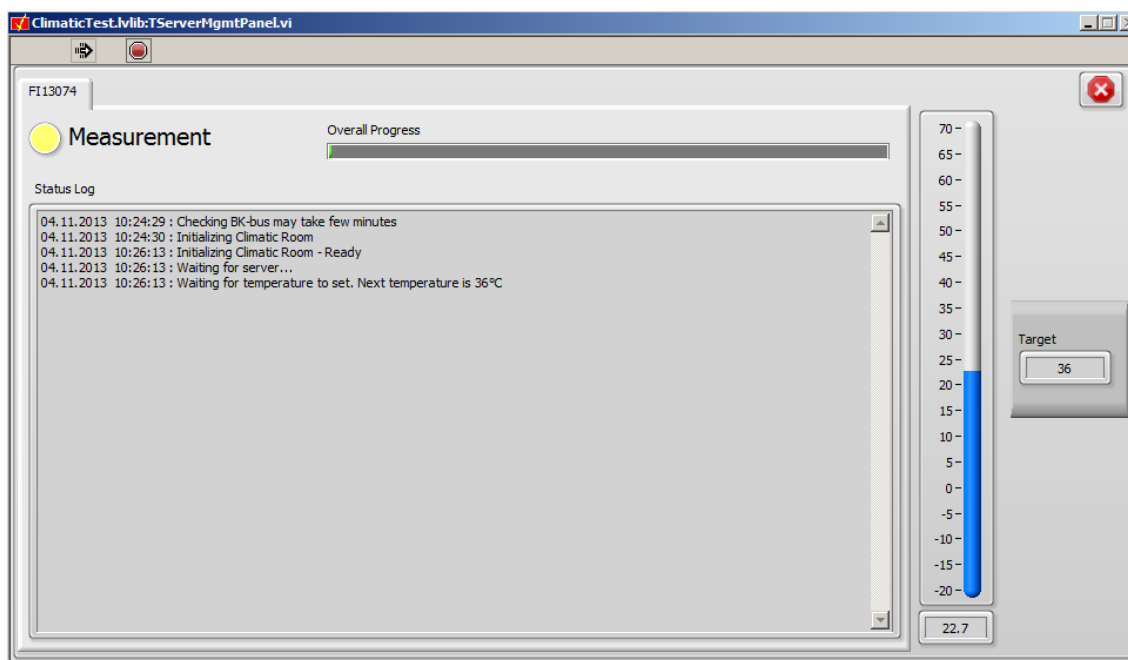


Kuva 17. Sykliä pohjalta muodostettu yhdistetty sykli

Seuraavaksi palvelin ohjaa testauskaapin lämpötilaa profiiliin mukaisesti ja ilmoittaa SVE:n kautta asiakaskoneille kaapin lämpötilan saavuttaessa syklissä esiintyvän pisteen. Lämpötila säädetään $\pm 0,3$ °C tarkkuudella. Asiakaskoneet vertaavat lämpötilaa omaan sykliinsä ja suorittavat mittaukset laitteille, mikäli lämpötila on siinä seuraavana.

Ennen mittausten käynnistymistä asiakaskoneet odottavat syklissä määritellyn tasaantumisaian. Tällä varmennetaan, että laitteen komponenttien lämpötila ei enää muutu mittauksen aikana. Kun mittaukset on saatu suoritettua, päivittävät asiakaskoneet SVE:n kautta omalla indeksillään boolean-tietotyyppin MeasurementStatus-taulukkoan oman solunsa arvoksi "True". Kaikkien mittausten ollessa valmiita prosessimalli siirtyy seuraavaan lämpötilaan. Tämän osuuden prosessikulku on havainnollistettu liitteen 2 vuokaaviossa.

Testauksien seuraamista helpottamaan ohjelmoitiin hallintapaneeli, jota ajetaan palvelinkoneella. Hallintapaneelistä voidaan katsoa jokaisen mittapaikan testauksen lokikirjaukset, testauksen tila ja edistyminen. Lisäksi paneeliin on sijoitettu tieto tämänhetkisestä lämpötilasta ja tavoitelämpötilasta. Kuva 18 on kuvakaappaus hallintapaneelistä.



Kuva 18. Palvelimen hallintapaneeli

4.5 Asiakaskoneiden toimintaperiaate

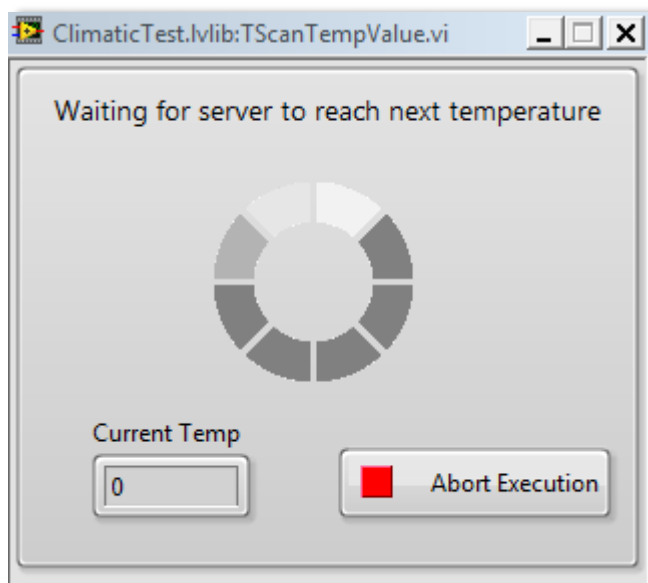
Asiakaskoneiden toiminta säilytettiin testausrutiinin osalta lähes identtisenä edelliseen versioon nähden. Uuden toimintamallin omaksuminen on siten helpompaa testausoperaattorille. Testaus aloitetaan listaamalla käytettävät jigit ja niihin sijoitettavat tuotteet IDNumberFeeder-ohjelmalla. Ohjelmaan syötetään ensin jigin tunnus. Tämän

jälkeen syötetään kyseisessä jigissä testattavien laitteiden sarjanumerot siinä järjestyksessä kuin ne asetellaan jigin laitepaikkoihin. Näiden tietojen pohjalta muodostetaan myöhemmässä vaiheessa tuotetietotaulukko, johon on listattuna jokaisen laitteen testauksessa tarvittavat tiedot.

Tämän jälkeen käynnistetään prosessimalli. Kuten luvussa 4.2 mainittiin, prosessimallin toiminta on riippuvainen palvelimesta. Tätä varten ohjelmoitiin useita VI:a, jotka huolehtivat tästä syntyvien tarpeiden täyttymisestä. Prosessimallisekvenssin ensimmäinen toimenpide on palvelimen tilan tarkistus. Mikäli testauksia yritetään käynnistää asiakaskoneilta ennen palvelinsekvenssin käynnistämistä, käyttäjälle annetaan virheilmoitus asiasta ja prosessimalli jää odottamaan tilanteen muuttumista.

Seuraavaksi prosessimallissa suoritetaan lukuisia alustustoimenpiteitä, joita ei määritellä tarkasti tässä. Tämän jälkeen noudetaan jokaisen tuotetietotaulukossa olevan tuotetyypin syklistiedot ja lähetetään ne palvelimelle. Seuraavana tarkistetaan, onko testauskonfiguraatio muuttunut. Konfiguraatio voi muuttua esimerkiksi, jos jokin testaus päätetään jättää pois syklistä ennen syklin käynnistystä. Muuttuneen konfiguraation tapauksessa mittapaikalle selvitetään uudelleen taulukkomuotoisten verkkomuuttujien tarvitsema indeksi. Indeksi on välttämätön näiden muuttujien käyttöä varten, jotta mittapaikat käsittelevät vain omia tietojaan.

Seuraavaksi siirrytään lämpötilasilmukkaan, jossa kaikki mittapaikan sykliin kuuluvat lämpötilat käydään yksitellen lävitse. Tässä kohdassa on ensimmäinen operaattorille näkyvä uudistus, kuvan 19 odotusikkuna, joka ilmoittaa testauksen odottavan lämpötilatietoa palvelimelta.



Kuva 19. Asiakaskoneiden odotusikkuna

Palvelimen ilmoittama lämpötila voi olla myös kyseisen mittapaikan sykliin kuulumaton, jos mittauksessa on erilaisia syklejä tarvitsevia tuotteita. Tässä tapauksessa mittapaikka jää odottamaan seuraavaa lämpötilatietoa. Kun oikea lämpötila on saavutettu, voidaan prosessimallissa siirtyä mittaussilmukkaan. Siinä suoritetaan tarvittavat mittaukset kaikille jigeissä oleville laitteille, jonka jälkeen palataan takaisin odottamaan seuraavaa lämpötilaa. Syklin suoritus on kuvattu liitteen 2 vuokaaviossa.

5 KÄYTTÖÖNOTTO

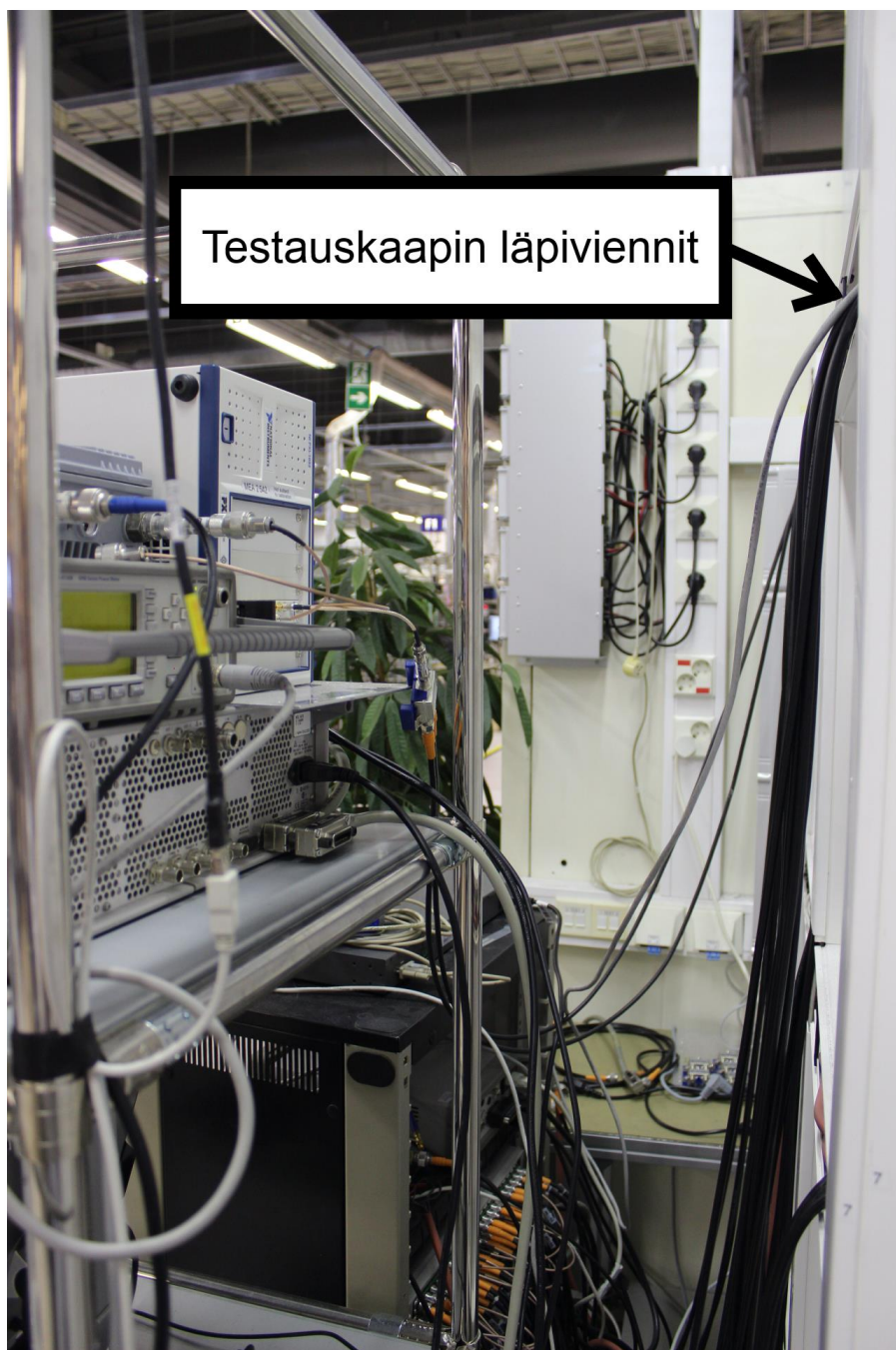
5.1 Testauksen simulointi ja testiajo

Ennen järjestelmän todellista käyttöönottoa testauksen toimivuus päätettiin varmistaa virtuaalisesti. Tämä toteutettiin ajamalla palvelinta ja asiakaskonetta simuloivaa ohjelmistoa yhdellä tietokoneella. Simulaatiossa käytettyjen laitteiden testisekvenssien mittaussosuuksien suoritus ohitettiin ja ajureista käytettiin testiversioita, jotka käyttäytyvät ennalta määrätyllä tavalla. Myös olosuhdetestauskaapin lämpötilan säätö simuloitiin tähän tarkoitukseen ohjelmoidulla testiajurilla. Testauksen avulla lähdekoodista saatiin poistettua semanttiset virheet, jotka olisivat aiheuttaneet ongelmatilanteita todellisessa testiajossa. Testin pohjalta voitiin todeta prosessimallin toiminnan oikeellisuus.

Testiajon tarkoitus oli varmistaa ohjelmiston toimivuus todellisessa testausympäristössä ja verrata tuloksia aiemmin käytetyn järjestelmän tuloksiin samoilla laitteilla. Koska Fineron olosuhdetestauskaappi oli entuudestaan käytössä BKT-sarjan tuotteiden kalibroinnissa, voitiin järjestelmän toimivuus varmistaa tällä laitteistolla vaihtamalla mittapaikan prosessimalli uuteen versioon ja lisäämällä palvelin mukaan kokoonpanoon.

5.2 Transponder-mittapaikka

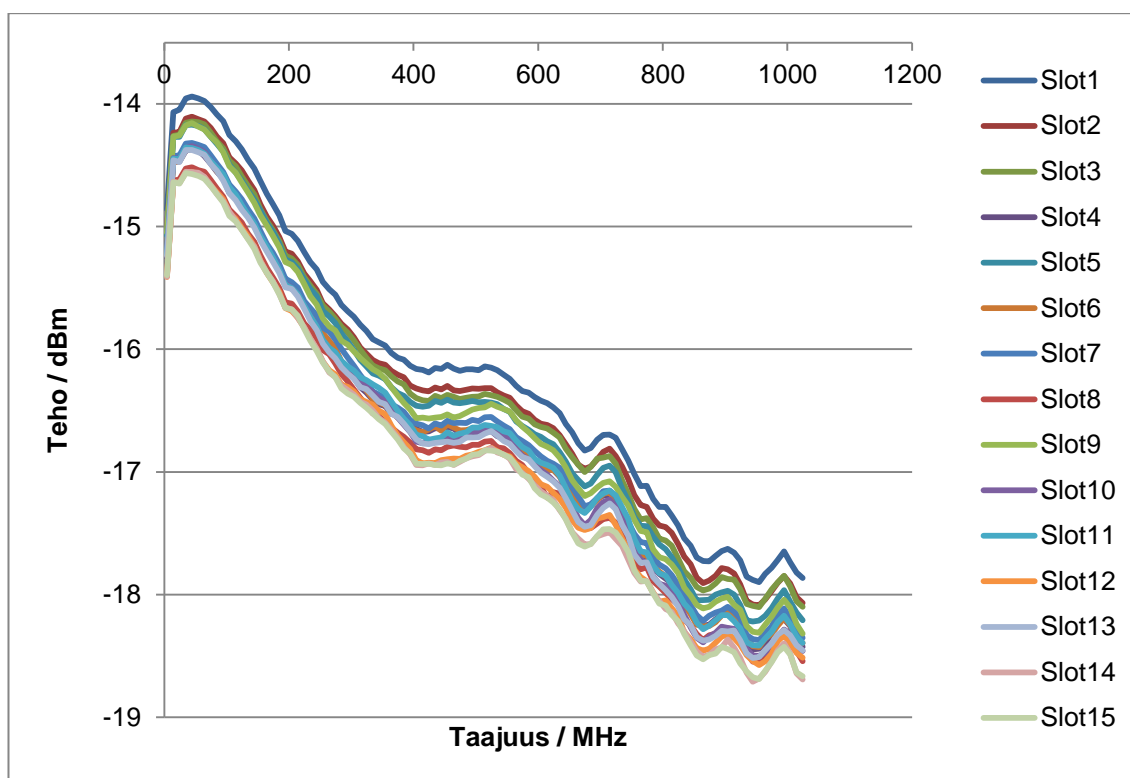
Transponderimittapaikka koottiin ja asennettiin testauspaikalle alusta alkaen. Tätä varten rakennettiin testaussolu, johon laitteisto sijoitettiin. Mittalaitteiden sijoitteluun kiinnitettiin erityistä huomiota, sillä jigipaikoille vedettävät RF-linjat haluttiin mahdollisimman lyhyiksi. Näin mittauksille kriittinen taajuusvaste saadaan tasaiseksi, mikä mahdollistaa tarkkojen mittausten tekemisen. Signaalireititykseen käytettävä PXI-laittekehikko ja siihen sijoitettu PXI-2557 demultiplekseri asetettiin mahdollisimman lähelle olosuhdetestauskaapin seinämän läpivientejä (kuva 20).



Kuva 20. Transponderisolun asennus

Jokaiselle mittapaikalle täytyy generoida oma jigikohtainen kalibrointitiedosto, jonka avulla voidaan ottaa huomioon taajuusvasteen vaikutus mittaustuloksiin. Koska jigien moduulipaikat tuottavat toisiinsa nähden erilaisen taajuusvasteen, täytyy jokaiselle paikalle tehdä yksilöllinen kalibrointi. Kalibrointi tehdään sekä meno- että paluusuunnan linjoille. Kalibroinnissa käytetään testitransponderia, joka on liitettyä kalibroitavaan

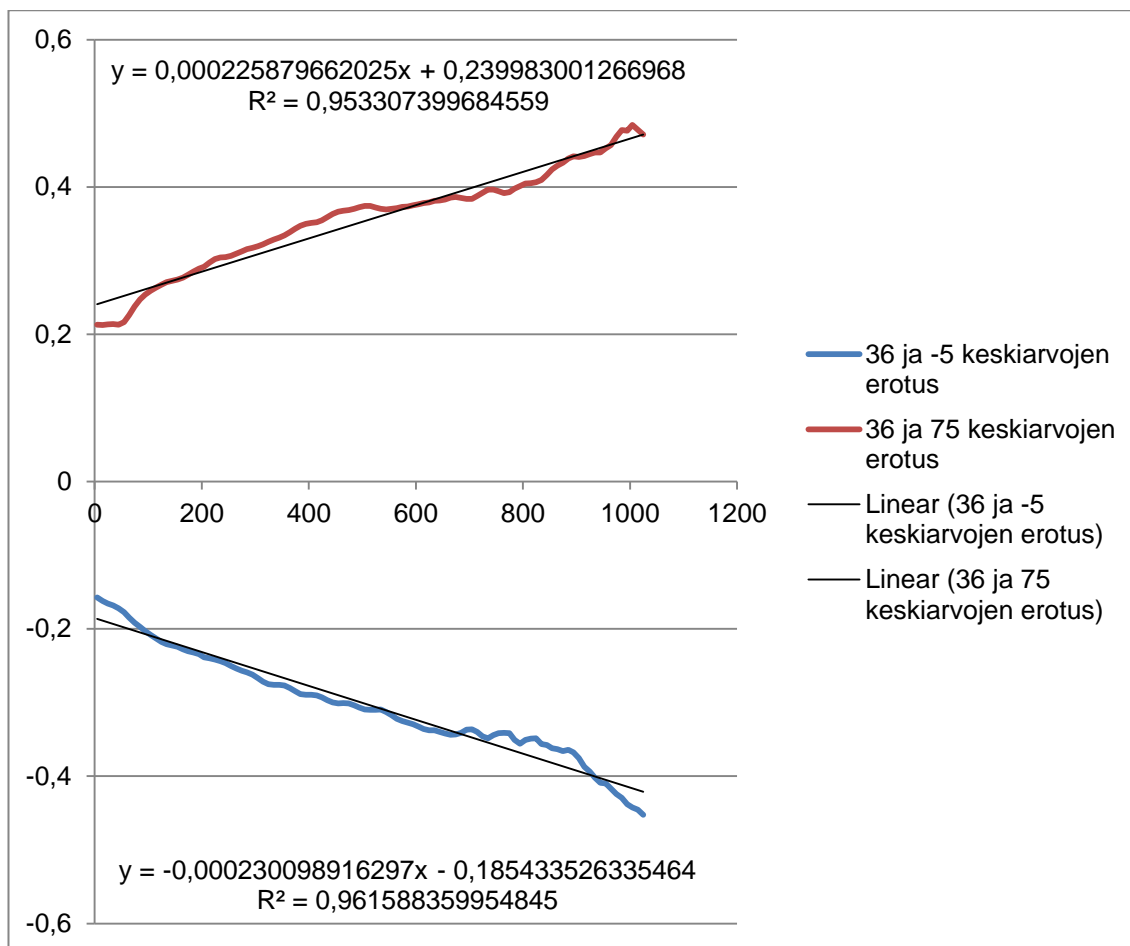
moduulipaikkaan. Generaattori syöttää signaalia normaalin reitityksen kautta transponderille. Transponderissa on liittimet meno- ja paluusuunnan linjoille, joista vaste mitataan tehomittarilla. Kalibrointi suoritetaan pyyhkäisemällä signaaligeneraattorilla 0 dBm tehotasolla mittauksiin käytettävän taajuusalueen ylitse. Kalibroitietiedostoon tallennetaan testitransponderin liitännästä tehomittarilla mitattu tulos jokaisesta taajuuspisteestä. Näin tiedetään miten paljon linjassa on vaimennusta milläkin taajuudella. Ideaalinen taajuusvaste on mahdollisimman tasainen, jotta kalibrointi onnistuu ja mittaus voidaan suorittaa luotettavasti ja tarkasti. Kytkennässä on käytetty 50 Ω ja 75 Ω impedanssin komponentteja, joista aiheutuva epäsovitus täytyy poistaa mahdollisimman hyvin lisäämällä vaimentimia eri kohtiin kytkentää. Tällä saadaan tasoitettua epäsovituksen aiheuttamat poikkeavuudet vasteessa. Vaimentimet asennettiin aiempien mittapaikkojen tapaan vahvistimen lähtöön, jaottimen sisääntuloon ja jigien sisääntuloihin. Yhden jigipaikan taajuusvasteet on esitettyä kuvassa 21.



Kuva 21. Jigipaikan taajuusvaste

Myös lämpötilan muutokset vaikuttavat jigien taajuusvasteeseen. Tästä johtuen jigien taajuusvaste mitataan jokaisen moduulipaikan osalta transponderien testauksessa käytettävissä lämpötiloissa: -5 °C:ssa, 36 °C:ssa ja 70 °C:ssa. Kaikkien

moduulipaikkojen tuloksista lasketaan keskiarvo. Tämän jälkeen lasketaan kuinka paljon keskiarvovaste muuttuu lämpötilan ääripäiden ja 36 °C:n välillä. Toisin sanoen 36 °C on referenssipiste, joka asetetaan koordinaatiston nollatasoon. Tätä tulosta käytetään lämpötilan vaikutuksen kalibroimiseen pois mittaustuloksista. Kalibrointi on yhteinen kaikille saman tyyppin jigeille. Kalibrointilaskelmat eräälle testausjigille on esitettyä kuvassa 22.



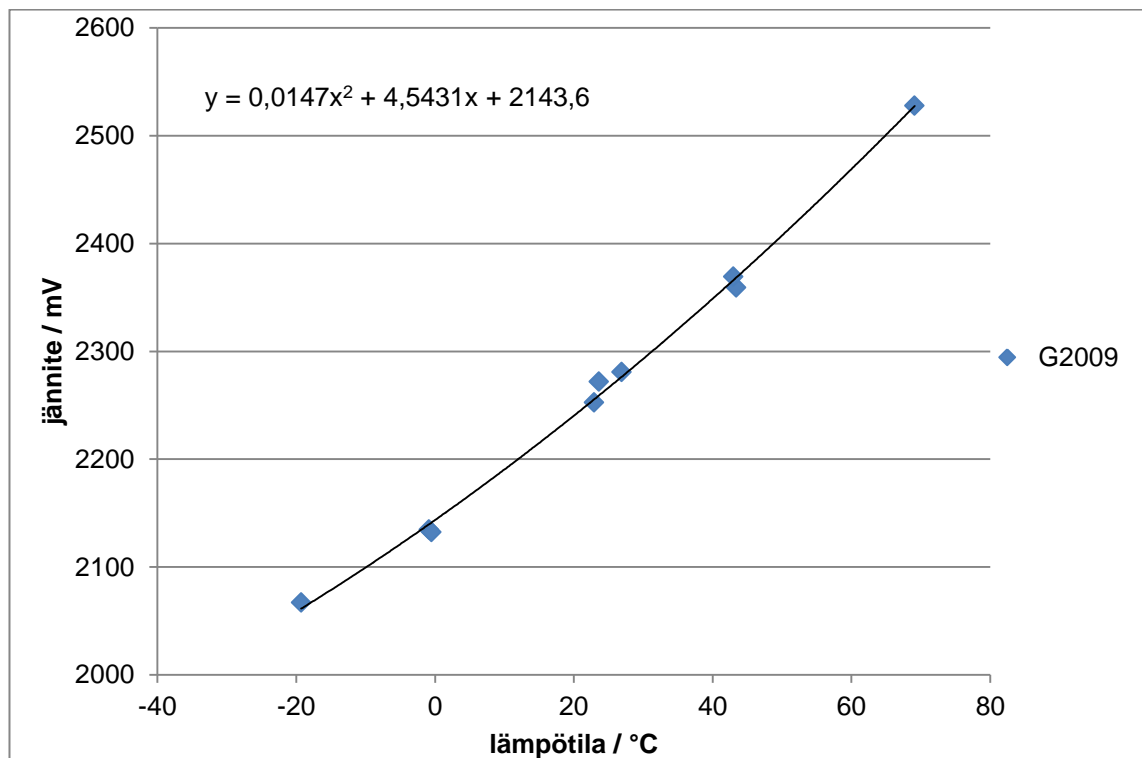
Kuva 22. Erään testausjigin lämpökalibrointimittaukset

6 MITTAUSDATAN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN

6.1 Mittaustulosten käyttö kalibroinnissa

6.1.1 BKT-tuotteet

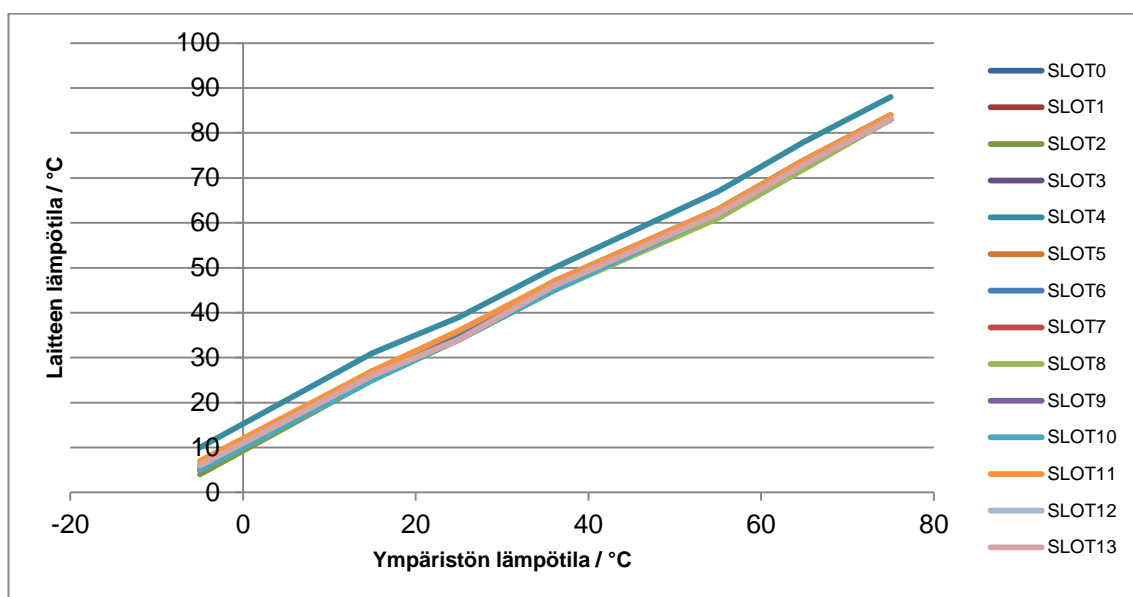
ALSC-moduulin ilmaisemat jännitteet tallennetaan jokaisesta mittauspisteestä, jonka jälkeen voidaan muodostaa korjauskäyrä koko lämpötila-alueelle. Edellytyksenä on se, että ilmaistu jännite pysyy tarpeeksi hyvin vakiona jokaisen pisteen osalta. Kuvassa 23 on erään G2009-moduulin ilmaisema jännite syklin mittauspisteissä ja niihin sovitettu korjauskäyrä.



Kuva 23. Esimerkki G2009-moduulin korjauskäyrästä

6.1.2 Transponderit

Transponderit tulee kalibroida testausvaatimusten mukaisesti $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja $75\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä. Tämä ei kuitenkaan onnistu Fineron testauskaapissa uretaanieristyksen lämmönsietokyvyn takia. Yli $70\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilat voivat vaurioittaa eristystä, joten testauksessa päädyttiin ekstrapoloimaan korjauskäyrien generointiin tarvittavat mittaustulokset kalibrointialueen ääripisteille. Olennaisin seikka ekstrapoloinnin onnistumiselle on laitteiden lämpökäyttäytymisen lineaarisuus. Lämpökäyttäytyminen selvitettiin suorittamalla sarja mittauksia laitteiden koe-erälle useissa eri lämpötiloissa. Tulosten perusteella laitteen lämpötila on mahdollista arvioida testausvaatimusten määrittämällä alueella riittävän tarkasti, vaikka mittaukset tehtäisiinkin alemmissa lämpötiloissa. Tulokset on esitetty kuvassa 24. Yksi laite poikkeaa muista hieman, koska se on koko mittausalueella muita lämpimämpi. Tulos on kuitenkin yhtä lineaarinen muiden kanssa, eikä siten vaikuta estimoitavuuteen.



Kuva 24. AC6980-transponderien lämpötilakäyttäytyminen ympäristön lämpötilan funktiona

Ekstrapoloinnin lisähyötynä mittaukset voidaan tehdä kahdessa eri lämpötilassa aiemmin käytettyjen kolmen mittauspisteen sijaan. Näin testausta saadaan nopeutettua huomattavasti. Kaappia ei tarvitse tulevaisuudessa jäähdyttää $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n alapuolelle sen jälkeen, kun mittaus on tehty esimerkiksi $36\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa ja $70\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Ohjelmistossa ekstrapolointi tehdään prosessin loppuvaiheessa ennen tuloksien kirjoittamista laitteille.

Tätä varten ohjelmoitiin alisekvenssi ja muutama VI, jotka käyttävät syklissä mitattuja tuloksia ekstrapolointidatan generoimiseen.

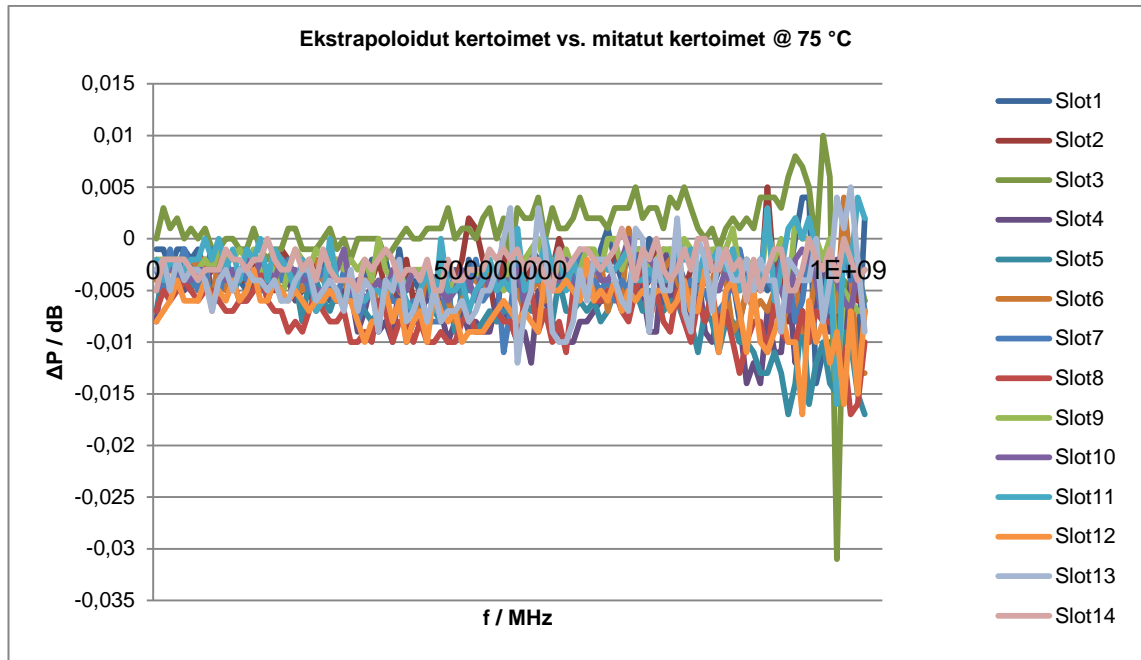
Ekstrapoloinnissa käytetään pienimmän neliösumman approksimointia, jossa yksittäisiin mittauspisteisiin sovitaan käyrä, joka kulkee keskimäärin pisteiden läheltä. Pisteet sovitaan suoran yhtälöön

$$f = ax + b,$$

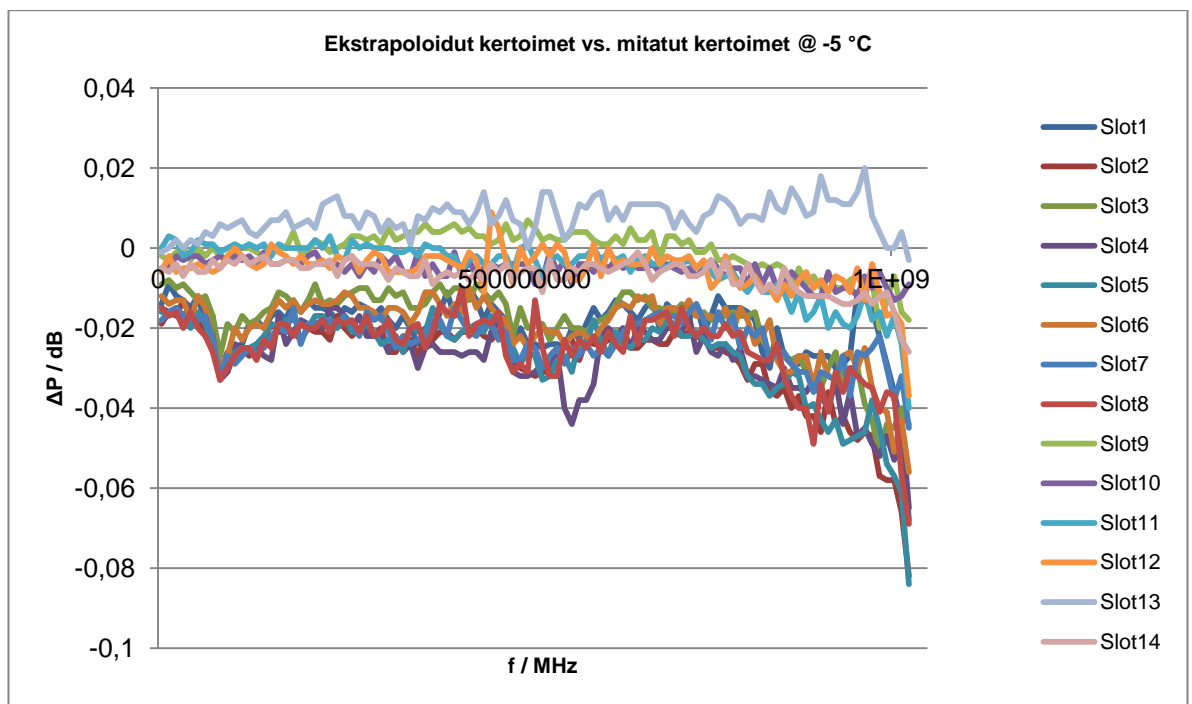
jossa a on kulmakerroin ja b leikkauspiste. Kulmakerroin ja leikkauspiste lasketaan minimoimalla residuaali seuraavan yhtälön avulla:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} w_i (f_i - y_i)^2.$$

Täten tulokset voidaan laskea mielivaltaiselle ekstra- tai interpolaatiopisteelle. Toistaiseksi ideana on kuitenkin tehdä mittaukset 36 °C ja 70 °C lämpötiloissa ja suorittaa ekstrapolointi –5 °C ja 75 °C lämpötiloille. Ekstrapoloinnin toimivuus testattiin käytännössä tekemällä mittaukset laitteiden koesarjalle näissä neljässä lämpötilassa ja vertaamalla laskettuja tuloksia todellisiin mitattuihin arvoihin. Suurimmatkin poikkeamat tuloksissa olivat desibelin sadasosien luokkaa, joten menetelmä soveltuu hyvin tähän tarkoitukseen (kuvat 25 ja 26).



Kuva 25. 75 °C:ssa mitattujen tulosten ja ekstrapoloitujen tulosten erot käytettävällä taajuusalueella



Kuva 26. -5 °C:ssa mitattujen tulosten ja ekstrapoloitujen tulosten erot käytettävällä taajuusalueella

7 YHTEENVETO

Työssä toteutettiin olosuhdetestauksen uudistus, jonka päätavoitteena oli nostaa transponderitestauksen kapasiteettia ja hyödyntää Telesten käytössä olevan olosuhdetestauskaapin tila paremmin. Uuden järjestelmän vaatimuksena oli tukea vaihtelevia testauskonfiguraatioita, sillä samassa testauskaapissa tehdään transponderien lisäksi myös BK-sarjan laitteiden olosuhdetestaukset. Järjestelmään tuli kyetä liittämään myös jälkikäteen uusia testaussoluja, jotta järjestelmää voisi tarpeen vaatiessa laajentaa.

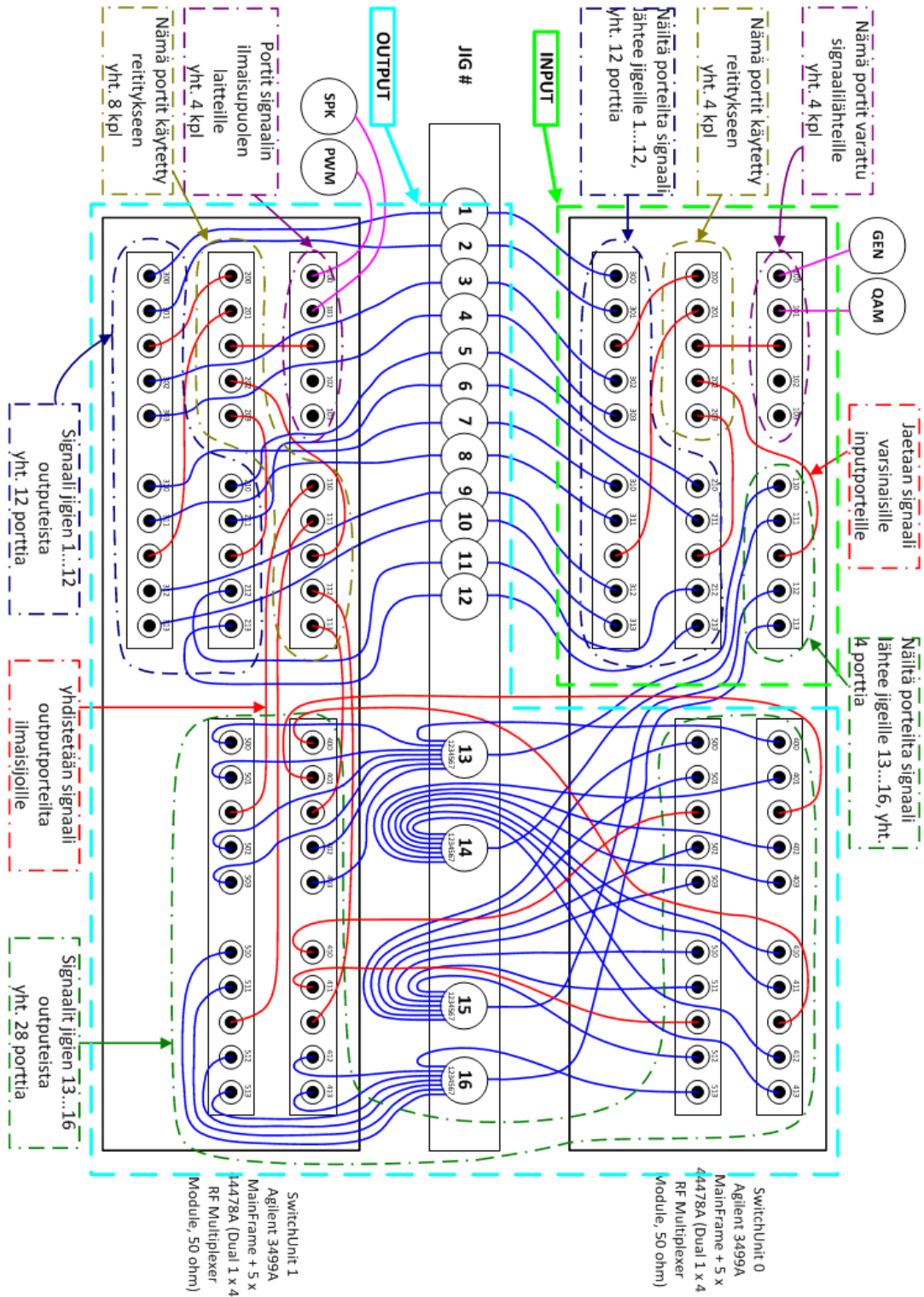
Olosuhdetestauskaapin ohjaus ja testauksien synkronointi ohjelmoitiin suoritettavaksi palvelimella. Varsinaiset testausjärjestelmät suunniteltiin toimimaan toisistaan erillään olevina itsenäisinä soluina. Ensimmäinen versio järjestelmästä tukee kymmentä erillistä testaussolua, mikä kattaa testaus tarpeet hyvin. Solujen enimmäismäärää on tarvittaessa mahdollista nostaa yksittäisellä ohjelmakoodin muutoksella. Uudistuksen myötä transponderien testaukselle luotiin vaatimusten mukaiset valmiudet ja niiden moduulitestaus on mahdollista siirtää tulevaisuudessa omaksi yksikökseen moduulivalmistuksen alaisuuteen. Näin tuotantoprosessi saadaan optimoitua paremmin Telesten lean-strategian mukaiseksi.

Järjestelmän toimivuus saatiin todennettua konkreettisin mittauksin asentamalla uuteen järjestelmään modulaarinen transponderisolu ja kalibroimalla testausjigi tähän soluun. Jigettä kalibroidaan tulevaisuudessa lisää, jotta järjestelmän todellinen potentiaali saadaan hyödynnettyä.

LÄHTEET

- [1] Fahlbom, J., *Olosuhdetestausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus kaapelitelevisioverkon tiedonsiirtolaitteille*, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2004, s.1-67.
- [2] Oksa, P., *Olosuhdetestausjärjestelmän päivitys*, opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu, 2006, s. 1-40.
- [3] Lean Enterprise Institute, "What is Lean?", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.lean.org/WhatsLean/> (luettu 6.6.2013)
- [4] Teknologiateollisuus ry. 2009. Lean-taskukirja.
- [5] HP, "Installation and getting started guide", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://ftp.hp.com/pub/networking/software/59692353-e2.pdf>
- [6] National Instruments, "2.5 GHz 75 Ω Multiplexer and SPDT Relay Switches", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.ni.com/pdf/products/us/8449_pxi255x.pdf
- [7] Agilent, "Agilent ESG-A and ESG-D RF Signal Generators", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-4074EN.pdf>
- [8] National Instruments, "NI PXI-5650 RF Signal Generator With Modulation Capability", [www-dokumentti]. Saatavilla <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202652> (luettu 24.5.2014)
- [9] Vötsch Industrietechnik, Technical data series VT³ & VC³, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.houm.no/filestore/PDF/1_Ufordelte_PDF/Temperatur-ogklimaskapBrosjyre_GB1.pdf
- [10] Finero, *Testihuone HCT-20*. Kausala: Finero, 2000, s. 1-15
- [11] National Instruments, "Using the LabVIEW Shared Variable", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.ni.com/white-paper/4679/en> (luettu 25.5.2014)
- [12] National Instruments, "Understanding Shared Variable Technology", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361J-01/lvconcepts/ni_psp/ (luettu 24.5.2014)
- [13] Teleste Corporation, "AC6980", [www-dokumentti] Saatavilla: <http://www.teleste.com/products/broadband-network/intelligent-optical-nodes-and-amplifiers/ac6980>. (luettu 29.5.2014)

BK-mittapaikan RF-yhteyksien kytkentäkaavio



Lämpösyklin suoritus

